

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Civil

Microsimulación de tráfico en zona urbana

Autor: Alejandra García Sánchez

Tutor: Francisco García Benítez

Luis Miguel Romero Pérez

Dep. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

Microsimulación de tráfico en zona urbana

Autor:

Alejandra García Sánchez

Tutor:

Francisco García Benítez

Tutor:

Luis Miguel Romero Pérez

Dep. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Microsimulación de tráfico en zona urbana

Autor: Alejandra García Sánchez

Tutor: Francisco García Benítez
Luis Miguel Romero Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

AJPH

Agradecimientos

Me gustaría aprovechar la ocasión para agradecer a mis tutores, Francisco y Luis, y en especial a Antonio Reyes, por la gran dedicación e interés en este Trabajo Fin de Grado.

Gracias a mi familia, por darme la oportunidad de estudiar y apoyarme incondicionalmente; y a mis amigas, Martas y María, por acordarse de mi cada vez que el agobio me hacía desaparecer de la Tierra.

José, mi gran apoyo, sin ti todo hubiera sido más difícil.

Juan José Sánchez Sánchez, gracias por demostrarme la fuerza de los deseos.

Resumen

El nivel de servicio, el continuo crecimiento de la población y el comportamiento de los vehículos, tanto en carretera como en intersecciones, son factores importantes a la hora de la implantación o mejora de los sistemas viarios existentes y en desarrollo.

En este Trabajo de Fin de Grado, se realiza una simulación del tráfico a escala microscópica en el barrio de Sevilla Este, localizado en la ciudad de Sevilla, a través del código comercial TRANSMODELER, con el fin de estimar el tráfico de la zona de estudio.

Para ello, se modelará el viario interno, así como las conexiones con las principales autovías de la ciudad. De igual modo, se definen su geometría y movimientos posibles en cada tramo urbano y sus correspondientes intersecciones.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Glosario	xxi
1 Introducción	1
1.1 Justificación de la zona	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Herramientas de trabajo	2
1.4 Organización del Trabajo Fin de Grado	3
2 Zona de Estudio	5
2.1 Dotaciones	6
2.1.1 Centros de salud	7
2.1.1.1 Públicos	7
2.1.1.2 Privados	7
2.1.2 Zonas escolares	7
2.1.2.1 Colegios de primaria	7
2.1.2.1.1 Públicos	7
2.1.2.1.2 Privados	8
2.1.2.1.3 Institutos	8
2.1.3 Áreas de trabajo	8
2.1.4 Zonas de ocio	9
2.2 Varios principales	9
2.2.1 Enlace con autovías	10
2.2.2 Varios más importantes	10
3 Modelado	11
3.1 Creación del mapa base	11
3.2 Creación del archivo de simulación	12
3.3 Modificación de la red viaria en el archivo de simulación	13
3.3.1 Trazado	13
3.3.1.1 Creación o eliminación de una vía	13
3.3.2 Geometría	14
3.3.3 Clase de vía	15
3.3.4 Elevación	16
3.3.5 Centroides	16
3.4 Composición final del modelo	18

4	Intersecciones	19
4.1	<i>Líneas conectoras</i>	19
4.1.1	Connectivity	20
4.2	<i>Intersección</i>	21
4.2.1	Intersección por señalización: “Stop or Yield”	22
4.2.2	Visualizar prioridad de paso	23
4.2.3	Intersección semafórica	24
4.3	<i>Composición final</i>	25
4.4	<i>Comprobaciones</i>	26
5	Matriz O-D	27
5.1	<i>Justificación: Matriz OD 2007</i>	27
5.2	<i>Movimientos intrazonales</i>	28
5.3	<i>Movimientos extrazonales</i>	29
5.3.1	Asignación en TransCAD	29
5.3.1.1	Vías Públicas/Privadas	29
5.3.1.2	Red del Sistema	29
5.3.1.3	Asignación del tráfico	30
5.3.2	Constructor de consultas en TransCAD	30
5.3.3	Exportación de Matrices TransCAD	32
5.3.4	Consultas vía Access	32
5.4	<i>Vehículos de paso</i>	35
5.5	<i>Configuración de la matriz</i>	37
5.6	<i>Matriz global del sistema</i>	38
6	Aforos y Sensores	39
6.1	<i>Sensores modelados</i>	40
7	Simulación	43
7.1	<i>Ajustes del proyecto</i>	43
7.2	<i>Simulación 0</i>	45
7.2.1	Subdivision TAZ	47
7.3	<i>Simulación 1</i>	48
7.3.1	Modificación semafórica por defecto en la simulación	48
7.3.2	Exceso de generación de viajes. Centroide 314	50
7.3.3	Exceso de generación de viajes. Centroide 316	52
7.4	<i>Calibración de la red</i>	53
7.4.1	Reducción de velocidad: Calle Tigris	53
7.4.2	Incremento de velocidad: Calle Dr. Miguel Ríos Sarmiento	54
7.4.3	Incremento de velocidad: Avenida de Séneca	55
7.4.4	Comprobación de ruta mínima	56
7.5	<i>Simulación 2</i>	57
7.5.1	Atasco rotonda Brenes	58
7.5.2	Atasco rotonda Av. Andalucía-Calle Amor	59
7.6	<i>Simulación 3</i>	60
8	Conclusiones	63
8.1	<i>Problemas presentados</i>	63
8.2	<i>Situación Actual: Sevilla Este</i>	64
8.3	<i>Resumen del modelo</i>	64
8.4	<i>Zona de estudio: Microsimulación</i>	64
8.5	<i>Conclusión personal</i>	65
	Bibliografía	67
	Anexo A: Planos	69
	Anexo B: Informe de Sensores	83

Anexo C: Estadísticas de viaje	89
Anexo D: Informe VMT & VHT	93
Anexo E: Nivel de Servicio en Rotondas	99

Índice de Tablas

Tabla 2–1. Densidad de población y de viviendas	6
Tabla 5–1. Matriz O-D en Hora Punta movimientos intrazonales	28
Tabla 5–2. Centroides de la zona de estudio	32
Tabla 5–3. Submatriz: Origen Sevilla Este- Destino Externo	34
Tabla 5–4. Submatriz: Origen Externo- Destino Sevilla Este	35
Tabla 5–5. Flujo a través de los centroides externos	35
Tabla 5–6. Submatriz: Vehículos de paso	37
Tabla 6–1. Datos Aforos reales	40
Tabla 7–1. Comparación de aforos	45
Tabla 7–2. Comparación de aforos	57

Índice de Figuras

Figura 2-1. Distrito Este	5
Figura 2-2. Densidad de población	6
Figura 2-3. Jerarquía Viaria	9
Figura 2-4. Enlaces con las principales autovías	10
Figura 3-1. Jerarquía Viaria con WML (Google Maps) en TRANSMODELER	12
Figura 3-2. Road Editor Toolbox	13
Figura 3-3. Características de una nueva vía	14
Figura 3-4. Edit Road Properties	14
Figura 3-5. Edit Road Classes	15
Figura 3-6. Edit Elevation	16
Figura 3-7. Ejemplo de centroide y líneas conectoras: Centroide 117 (Alcosa)	17
Figura 3-8. Puntos de delimitación del Sistema () y centroides Distrito Este ()	18
Figura 4-1. Add/ Delete a Lane Connector	20
Figura 4-2. Connectivity	21
Figura 4-3. Intersection Toolbox	21
Figura 4-4. Intersection Control Editor	22
Figura 4-5. Control Stop or Yield: Stop/Yield Signs	23
Figura 4-6. Visualización de prioridad	23
Figura 4-7. Pretimed (Sequential Phasing)	25
Figura 4-8. Check Network	26
Figura 5-1. Select Link / Zone Query Builder SE30_Enlace_A92	31
Figura 5-2. Options: Zone Queries	31
Figura 5-3. Matrix Export	32
Figura 5-4. Consulta O interno-D externo	33
Figura 5-5. Consulta O externo-D interno	34
Figura 5-6. Tráfico de paso 301 a 303. (Zone Query Builder)	36
Figura 6-1. Aforos Sevilla Este	39
Figura 6-2. Propiedades aforos modelados	41
Figura 7-1. Ajustes del proyecto: Speed and Capacity	43

Figura 7-2. Ajustes del proyecto: Output	44
Figura 7-3. Efecto conector.	46
Figura 7-4. Subdivisión de TAZs	47
Figura 7-5. Eliminación efecto conector	48
Figura 7-6. Defecto semafórico	49
Figura 7-7. Solución defecto semafórico	50
Figura 7-8. Exceso de generación de viajes centroide 314	51
Figura 7-9. Exceso de generación de viajes centroide 316	52
Figura 7-10. Calle Tigris	53
Figura 7-11. Calle Dr. Miguel Ríos Sarmiento (verde) y Av. Ciencias (rojo)	54
Figura 7-12. Av. Séneca (verde), A4 (azul), Carretera hacia Brenes (rojo)	55
Figura 7-13. Ruta mínima del centroide 304 al 308 (modelo)	56
Figura 7-14. Ruta mínima del centroide 304 al 308, GPS Google Maps	56
Figura 7-15. Atasco: Principales viajes, Rotonda Brenes	58
Figura 7-16. Atasco: Rotonda Av. Andalucía SE 30	59
Figura 7-17. Solución: Rotonda Brenes	60
Figura 7-18. Solución: Rotonda Av. Andalucía SE 30	61

Glosario

CartoETSA: Cartografía Digital de Andalucía de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura	3
CDAU: Callejero Digital de Andalucía Unificado	2
DERA: Distribución Espacial de la Población en Andalucía	51
ETRS89: European Terrestrial Reference System 1989	14
PGOU: Plan General de Ordenación Urbana	7
SRC: Sistema de Referencia de Coordenadas	14
UTM: Universal Transversal de Mercator	14
WGS84: World Geodetic System 1984	14
WML: Web Map Layer	14

1 INTRODUCCIÓN

Es apreciable el crecimiento urbanístico que se ha dado en la ciudad de Sevilla, donde barrios que empezaron con pequeñas construcciones, han acabado ocupando una gran superficie y con una población mucho mayor que la inicial.

El principal problema de la ciudad está vinculado a ciertas deficiencias que se dan en el transporte público de la misma:

- El metro sirve de transporte útil a unas zonas muy concretas, por tanto, no constituye un sistema de transporte integral en la ciudad de Sevilla.
- El cercanías se ve limitado por la baja capacidad que tiene el sistema ferroviario sevillano, dando problemas a su vez en el transporte de mercancías a través de la misma.
- En cuanto al autobús, aunque existan líneas que abarcan la totalidad de la ciudad, se encuentran zonas problemáticas, dado que los movimientos extrazonales implican un alto consumo de tiempo a los usuarios del mismo.

1.1 Justificación de la zona

Una zona donde claramente se observan estas deficiencias es el barrio de Sevilla Este. Cabe destacar que esta zona presenta una tendencia al alza en cuanto a su superficie y población.

Es evidente el problema de este crecimiento, puesto que las principales vías de salida se pensaron para capacidades menores a las que actualmente se precisan. En la actualidad únicamente existen tres salidas, donde cada una de ellas conecta con tres autovías principales de la ciudad (SE-30, A-92 y A-4).

Además de los problemas de saturación de Sevilla Este en las salidas del mismo en hora punta, se le añade la poca influencia del transporte público:

- Para poder utilizar el Metro, habría que desplazarse a otro barrio más cercano, lo que implica un movimiento extrazonal.

- El cercanías se encuentra en la zona de mayor afluencia del barrio, entre el Palacio de Congresos y el Centro Comercial principal (Zona Este), pero existe una sola estación para un área tan extensa.
- En el caso del uso de autobuses públicos, se presentan varias casuísticas debido a las características de las tres líneas que dan servicio al barrio. La línea 22 no cubre la totalidad de Sevilla Este, la línea B4 conecta bien los barrios colindantes como son Alcosa y Torreblanca, pero esta comparte la misma problemática de las líneas 22 y 27, puesto que para los destinos más alejados se da un mayor consumo de tiempo provocado por la existencia de numerosas paradas en el trayecto.
- Un recurso que es relativamente nuevo es el Sevisi. Las estaciones se encuentran distribuidas uniformemente en todo el barrio, facilitando movimientos dentro del mismo. Sin embargo, cuando el viaje implica la salida de Sevilla Este, el servicio no es eficiente. Las causas de estas deficiencias son el tiempo excesivo del uso del sistema, así como la necesidad de una parada intermedia para evitar un coste adicional (trayectos mayores de 30 minutos).

1.2 Objetivos

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado son el modelado y análisis del tráfico en el barrio de Sevilla Este en hora punta, así como un primer contacto con el código comercial TRANSMODELER.

Con este TFG, se pretende ayudar en un futuro a reducir las deficiencias presentes en la zona de estudio, así como servir de punto de partida para los posibles posteriores análisis que se pudieran dar.

1.3 Herramientas de trabajo

Para la realización de este trabajo, ha sido necesaria la consulta en diferentes fuentes de información y bases de datos, con el fin de que el modelo se parezca a la realidad lo máximo posible, puesto que se trata de una simulación a escala microscópica.

- La situación de los viarios existentes se ha obtenido en el centro de descargas del CDAU.
- Para la consulta de elevación de las diferentes infraestructuras, así como el ancho de cada una de las vías existentes, se ha hecho uso de planos en formato .dwg obtenidos a partir de la web de CartoETSA.

- La información correspondiente a los movimientos posibles y fases semafóricas en intersecciones, así como los aforos semafóricos, han sido facilitados por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.
- Matriz O-D en Hora Punta 2007. Obtenida a partir del Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.
- El desarrollo del trabajo se ha realizado a partir de la aplicación informática de microsimulación TRANSMODELER, el cual simula el tráfico teniendo en cuenta una amplia variedad de instalaciones y características de las vías.

Además, este software, evalúa el valor del tiempo y el coste a la hora de la elección de la ruta. Los movimientos en intersecciones y control del vehículo, están afectados por la agresividad del conductor, la geometría de la vía y características del vehículo, siendo posible la modificación de todas estas particularidades.

- Para la determinación de la matriz de origen-destino de la zona de estudio en hora punta, se ha utilizado la herramienta TRANSCAD, donde toda la información necesaria para el desarrollo de la misma ha sido obtenida por parte del Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.
- Los valores correspondientes a los Aforos existentes en la zona de estudio, han sido facilitados por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.

1.4 Organización del Trabajo Fin de Grado

Con este Trabajo de Fin de Grado, como se comenta anteriormente, se pretende un análisis de tráfico en la zona de estudio. Es por esta razón por la que se cree conveniente estructurar el trabajo en el mismo orden en el que se ha realizado, para servir de guía a futuros compañeros que se inicien en el uso de este software.

En primer lugar, se establecen los objetivos e intenciones con el proyecto. Una vez conocido esto, se elige una zona de análisis, la cual debe de presentar particularidades que impliquen interés en el estudio de la misma.

Se debe buscar información de todas aquellas particularidades que pueda afectar al modelo microscópico, puesto que, a diferencia de un análisis macroscópico, este debe de ser caracterizado más minuciosamente. Toda la información anterior se recoge en los dos primeros capítulos, *Introducción* y *Zona de Estudio*.

Seguidamente, se comienza el uso del software en cuestión. Para empezar a trabajar, es necesario tener conocimientos básicos sobre TRANSMODELER. Esto se consigue utilizando la Ayuda “*TransModeler User’s Guide*”, en la cual se pueden consultar los primeros pasos y practicar con diferentes archivos integrados en el código.

El desarrollo del trabajo en esta aplicación de Caliper, se recoge desde el capítulo tercero hasta el séptimo. Cada uno de estas secciones se corresponden con los diferentes bloques necesarios realizar para conseguir la definición del trabajo. Estos bloques son el *Modelado* del sistema viario, *Intersecciones*, *Matriz O-D*, *Sensores y Aforos* y *Simulación*.

En el capítulo octavo se corresponde con las conclusiones de este Trabajo de Fin de Grado.

El texto principal viene acompañado de dos Anexos: A y B. El primero muestra planos que ayudan a la visualización y localización de los principales flujos y centroides. El anexo B recoge los resultados extraídos de TransModeler.

2 ZONA DE ESTUDIO

Sevilla Este se encuentra en el sector oriental de la ciudad de Sevilla. Junto con Alcosa y Torreblanca, forma el Distrito Este de la ciudad.

Antes conocido como “Polígono Aeropuerto”, idea que nace en 1969, pero no es hasta principios de la década de los 80 cuando comienzan las construcciones. Se pretendía la edificación de 30 436 viviendas.

Poco a poco, el Distrito Este ha ido creciendo, hasta convertirse en, según el PGOU 2006:

“el distrito en el que viven más habitantes por vivienda, pero, también, es el más extenso en superficie, lo que hace que sea el distrito de menor densidad de viviendas por hectáreas”

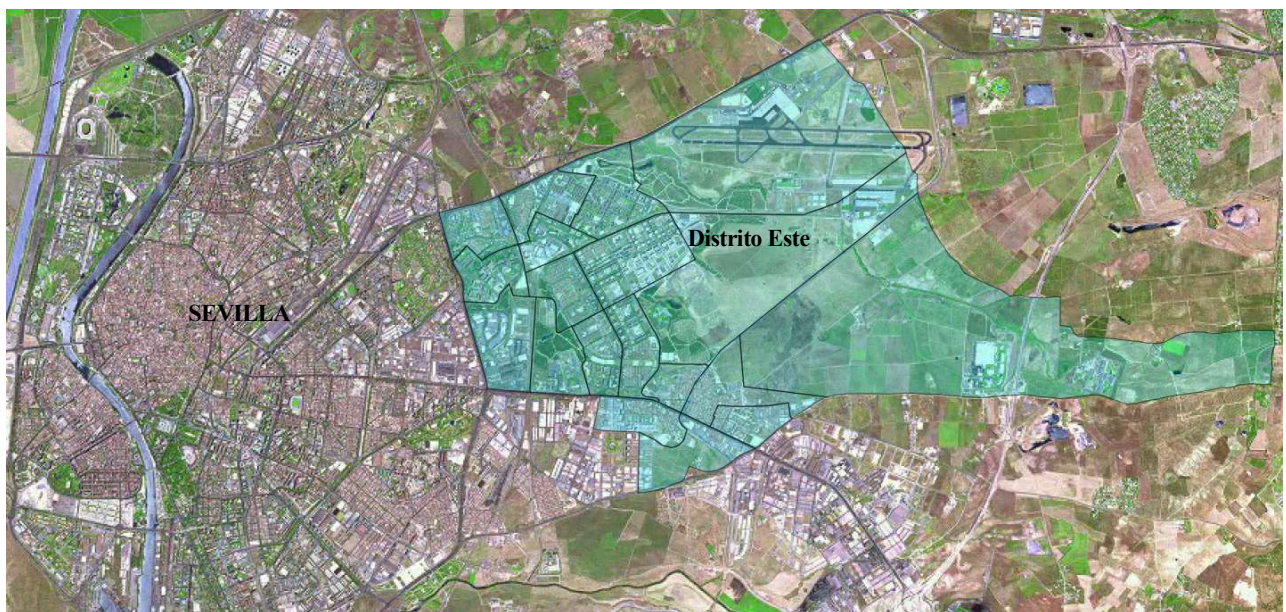


Figura 2-1. Distrito Este

Respecto a la cuantificación de la población, viviendas y superficie, encontramos en el PGOU 2006 la siguiente información:

Tabla 2-1. Densidad de población y de viviendas

Barrio	Superficie	Habitantes	Viviendas	Hab/viv	Hab/ha	Viv/ha
Alcosa	198.285	19 856	6 581	3.02	100.14	33.19
Sevilla Este 1+2	712.240	48 446	23 257	2.08	68.02	32.65
Torreblanca	155.056	18 830	5 346	2.66	107.45	40.47

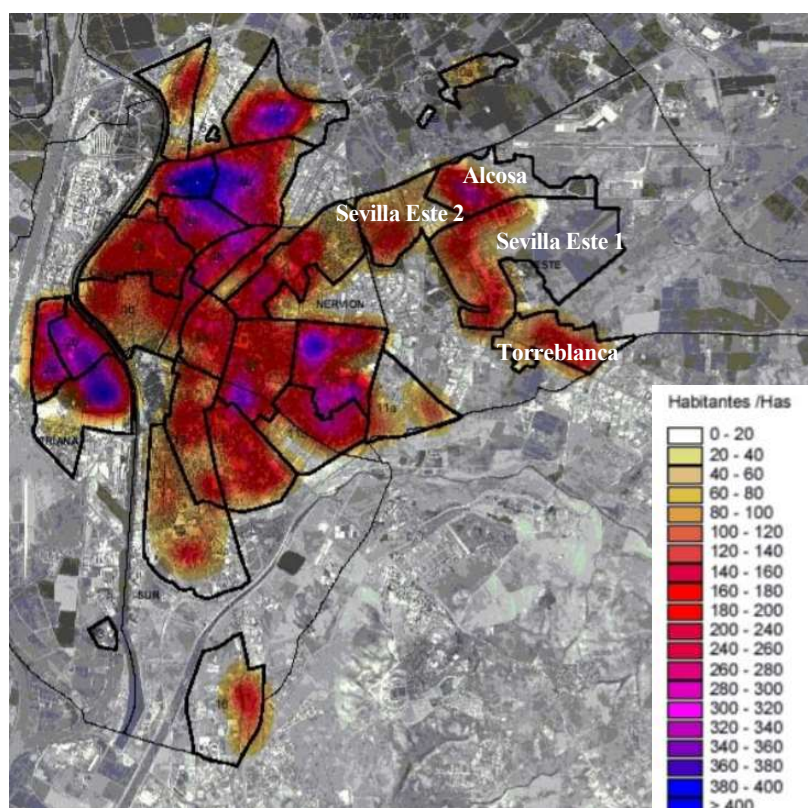


Figura 2-2. Densidad de población

Imagen obtenida del Nuevo PGOU (Capítulo IV)

A día de hoy, según 'ide.SEVILLA', este ocupa una superficie total de 31 Km², y la población de Sevilla Este ha aumentado hasta los 52 420 habitantes.

2.1 Dotaciones

Esta zona de estudio, como se ha mencionado anteriormente, se caracteriza tanto por su alta población como por su extensión. Ambas particularidades implican la necesidad de un mayor número de equipamientos de bienestar social, referentes al deporte y cultura, así como espacios libres, y grandes superficies cuya finalidad es la prestación de servicios en el ámbito de la salud y la educación.

Dado que el análisis de tráfico en el barrio de Sevilla Este se realiza a escala microscópica, es necesario, para la ejecución de un buen modelo, establecer los diferentes usos del suelo que puedan afectar al tramo horario en estudio (Hora punta). Este tramo horario se comprende entre las 7:00 y las 10:00 de la mañana, dentro del cual se observa que afecta la existencia de zonas escolares, así como de zonas de trabajo y de salud. (Ver Anexo A.- Plano 1)

2.1.1 Centros de salud

Es una zona de atracción de viajes, tanto por parte de los trabajadores, como de los usuarios que van a hacer uso de las instalaciones. Se localizan próximos a zonas residenciales, por tanto, muchos de los viajes generados podrían hacerse a pie. Todo esto se tendrá en cuenta a la hora de realizar la matriz de generación de viajes.

En la zona de estudio, podemos diferenciar varios centros de salud, tanto públicos como privados.

2.1.1.1 Públicos

- Centro de Salud Fuensanta Pérez Quirós. (medicina de familia y pediatría)
- Centro de Salud Puerta Este. (Medicina de familia y pediatría)
- Unidad de Salud Mental Comunitaria

2.1.1.2 Privados

- Centro médico Quirón Sevilla Este (diferentes especialidades)
- Centro Médico Viamed Santa Ángela de la Cruz Sevilla

2.1.2 Zonas escolares

Sevilla Este tiene que dar servicio a aquellos menores en el ámbito de la educación, por ello, se pueden encontrar numerosos colegios e institutos. Como en el caso anterior, se encuentran cercanos a grandes zonas residenciales las cuales comprenden bloques de pisos, por tanto, todo ello se tendrá en cuenta en la generación de viajes.

Se dividen en dos tipos de escuelas, centros de primaria y secundaria, puesto que los menores que hacen uso de estas instalaciones tienen rangos de edades diferentes, siendo obligatorio en los centros de primaria el acompañamiento del menor por un adulto.

2.1.2.1 Colegios de primaria

2.1.2.1.1 Públicos

- Colegio Ángel Ganivet
- Colegio Azahares
- Colegio Híspalis

- Colegio Isbilya
- Colegio El Manantial
- Colegio Jacarandá
- Colegio Maestro José Fuentes
- Colegio Tartessos

2.1.2.1.2 Privados

- Colegio Antonio Machado
- Colegio La Luna
- Colegio Escuela Francesa
- Colegio privado Alberto Durero
- Colegio Las Artes
- Colegio Arboleda

2.1.2.1.3 Institutos

- IES Ramón del Valle-Inclán
- IES Quinto Centenario
- IES Miguel Servet
- IES Margarita Salas
- IES Chaves Nogales

2.1.3 Áreas de trabajo

Sevilla Este es principalmente un barrio residencial, pero cabe destacar varios edificios compuestos por oficinas, generadores de viajes en hora punta:

- Renta Sevilla
- Edificio grupo Azvi
- Junta de Andalucía Consejería de Salud
- Oficina de Empleo Sevilla Este
- Catastro Gerencia Regional de Andalucía
- MercaSevilla
- Hipercor – El Corte Inglés
- ...

Hay que añadir que Sevilla Este limita con varios polígonos industriales, lo que afecta al nivel de servicio de las principales autovías que rodean a esta zona:

- Polígono industrial Calonge
- Polígono industrial Carretera Amarilla
- Polígono industrial El Pino

2.1.4 Zonas de ocio

En el lugar de estudio encontramos, además, dos zonas de gran generación de viajes:

- Centro Comercial Zona Este
- Palacio de Congresos y Exposiciones (FIBES)

Ambos están cercanos a la parada de cercanías de este barrio. Además de comprender una zona de trabajo, se da una atracción de viajes por todos aquellos usuarios interesado en los servicios que cada una de estas presta.

2.2 Viarios principales

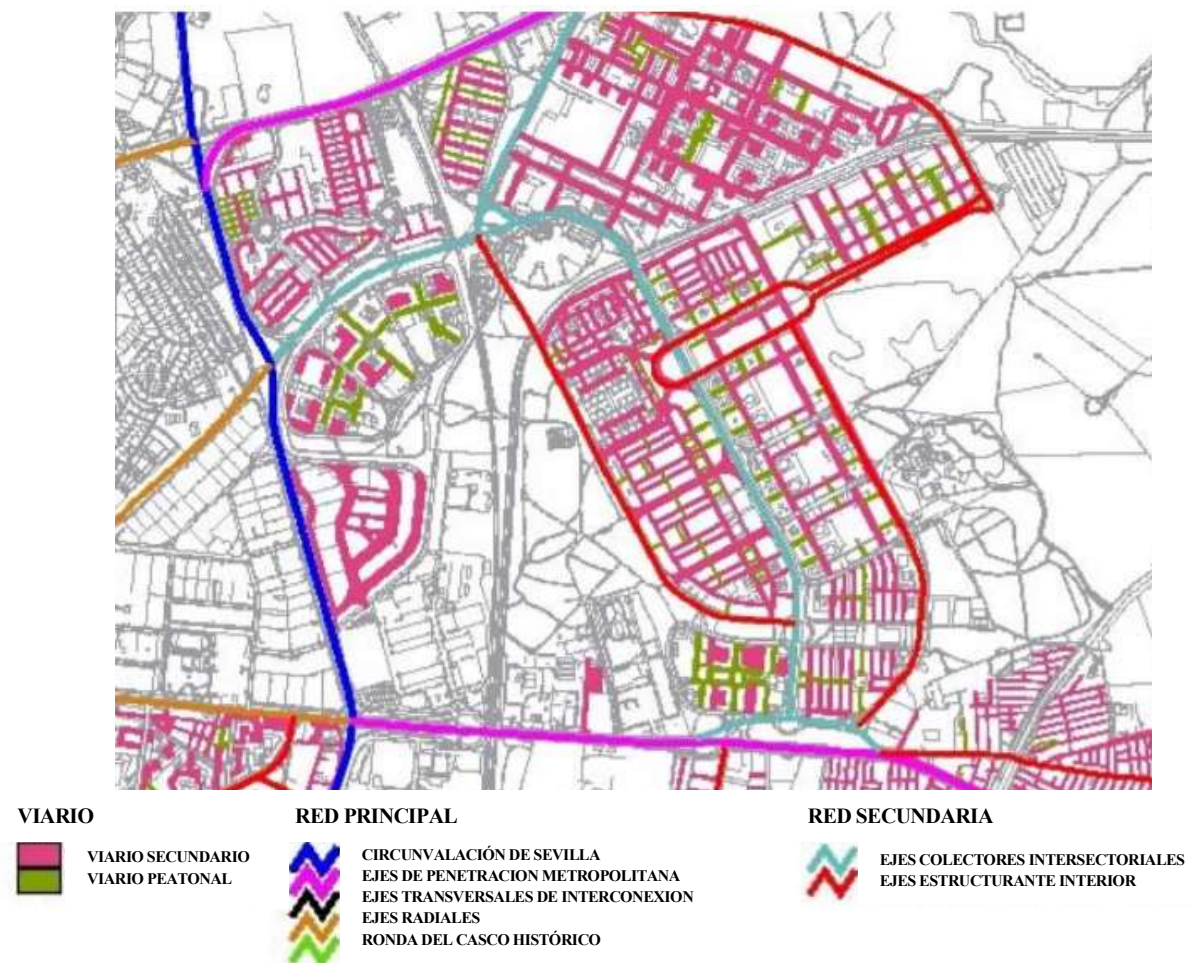


Figura 2-3. Jerarquía Viaria
Imagen obtenida del Nuevo PGOU (Capítulo XII)

2.2.1 Enlace con autovías



Figura 2-4. Enlaces con las principales autovías

Sevilla Este se caracteriza por tener enlace directo con 3 autovías. El problema reside en que, los enlaces anteriormente mostrados, aparte de posibilitar la conexión con la autovía correspondiente, también permite circular en otras direcciones.

Ejemplo 2-1. El enlace con la SE-30, permite a su vez ir en dirección Santa Clara - Centro Comercial Los Arcos.

2.2.2 Varios más importantes

En la zona de estudio se observan vías de mayor tránsito:

- Avenida Alcalde Luis Uruñuela
- Avenida de las Ciencias
- Avenida de la Aeronáutica.

Estas se encuentran localizadas una a continuación de la otra, y, a grandes rasgos, permite una conexión directa entre el enlace con la SE-30 y la A-92.

Existen otras avenidas importantes, de menor tránsito, entre las que podemos destacar: Avenida de Emilio Lemos y Avenida República de China.

3 MODELADO

TRANSMODELER es un software de simulación del comportamiento de los vehículos, el cual permite la diferenciación de las vías según sean autopistas, vías urbanas, zonas residenciales, etc. La posibilidad de modificar características como la velocidad, el viario y la tipología de zonas (*Work Area*, *School Area*), entre otras, permite el análisis de áreas extensas con detalle.

Además, posee una serie de herramientas, las cuales aseguran un control completo sobre las intersecciones, ya sean semafóricas o señalizadas. A parte de un análisis microscópico, este software permite la simulación mesoscópica y macroscópica.

Cabe destacar su integración con un sistema de información geográfica especializado en el ámbito del transporte, perteneciente a la misma marca comercial CALIPER, y conocido como TRANSCAD.

Este trabajo se centra en la simulación de vehículos privados, a pesar de que la aplicación permita simular el transporte público teniendo en cuenta la frecuencia de paso y sus horarios.

3.1 Creación del mapa base

Para poder conseguir una red viaria modelada minuciosamente, se debe de partir del archivo de CDAU anteriormente mencionado, el cual contiene los ejes de las vías principales. Hay que tener en cuenta el SRC.

La red obtenida se observa que se encuentra en ETRS89 UTM zona 30. Para poder desarrollar el trabajo con una imagen de referencia, se establece el SRC WGS84 el cual nos permite implantar como base una WML, como sería Google Maps.

Una vez tenido en cuenta esto, se introduce en el programa el archivo que contiene los ejes de las vías, y se genera un archivo .map que es reconocido como la base de la simulación que se realizará.

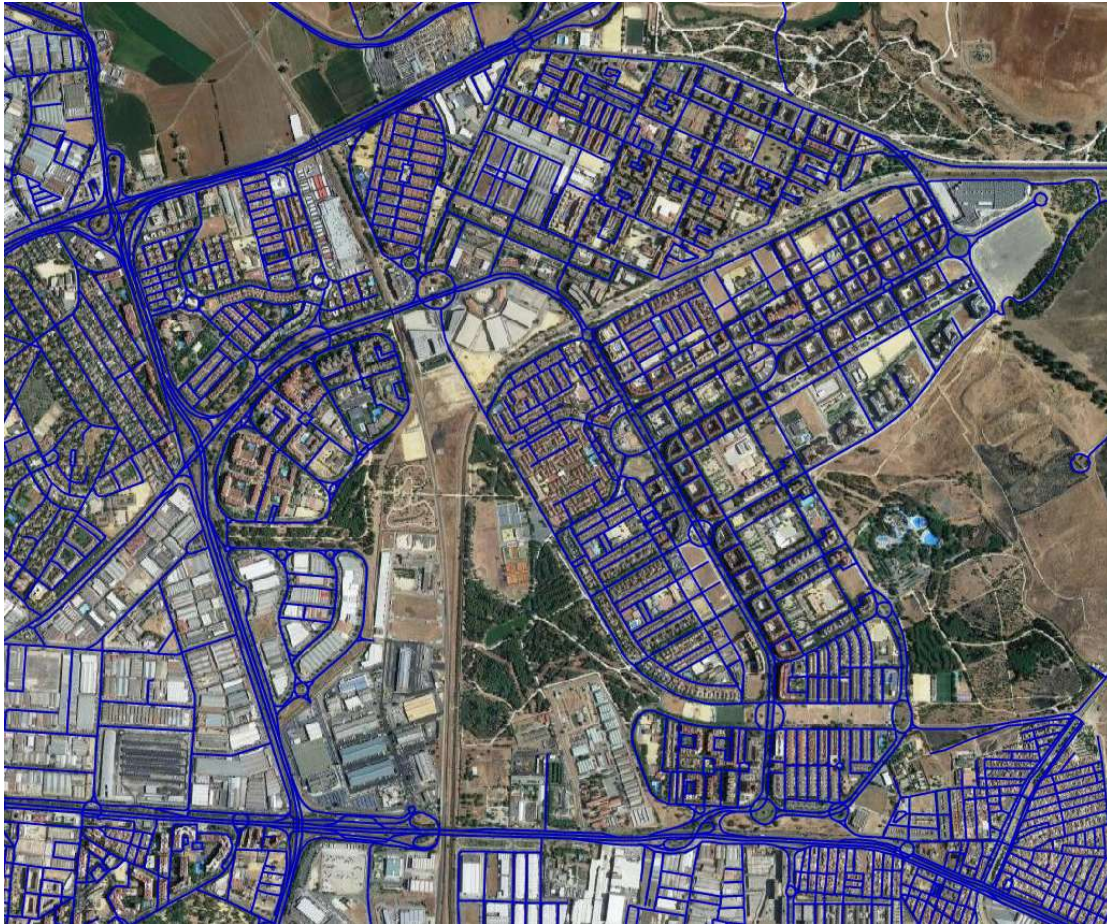


Figura 3-1. Jerarquía Viaria con WML (Google Maps) en TRANSMODELER

Teniendo en cuenta que el análisis se reduce al barrio de Sevilla Este, se prescindirá de todas las vías pertenecientes a otras zonas de alrededores como sería el Parque Alcosa, Torreblanca, Santa Aurelia, etc.

Tras esto, se eliminan aquellas vías que no pertenezca a dominio público, como son las vías privadas de urbanizaciones, y las correspondientes a otros usos, calles peatonales, Sevisi...

Lo ideal es que toda vía sea un mismo segmento entre intersecciones, para reducir el tiempo de transformación a un tipo de vía base, acción que es necesaria para obtener el archivo de simulación (.smp).

3.2 Creación del archivo de simulación

La creación del archivo de simulación implica la caracterización de los ejes de vía.

Para comenzar este archivo, será necesario crear una “New File”. Una vez pulsado el icono correspondiente, aparece un nuevo cuadro que nos da a elegir el tipo de archivo que queremos crear. En este se elige la opción de “*Simulation Project*”.

Una vez elegido el nuevo tipo de archivo, se continúa especificando las características del mismo. En este caso se elige la opción “*Create a New Project: By Converting a Line Layer*”, donde se define la capa del archivo .map que se desea introducir en el proyecto, además de la elección de la dirección del tráfico.

En la importación de la capa se pueden elegir diferente información, así como el tipo de tabla de especificación de clases de vía. En este caso, dado que existen vías de diferentes clases, cada una de ellas se le especificará la tipología de vía individualmente. Además, el programa no tiene una conversión perfecta, sino que es necesaria su posterior modificación en cuanto a trazado y líneas conectoras en cada una de sus intersecciones

Por defecto, el programa convierte cada una de las líneas en una vía de doble sentido, con un carril por sentido de ancho 3.66 m. En el siguiente apartado se explicarán las acciones necesarias para la caracterización de cada una de las vías



3.3 Modificación de la red viaria en el archivo de simulación

Para poder modificar las vías creadas, es necesario activar el cuadro: “*Road Editor Toolbox*”. Este permite variar la geometría de la vía, definir anchos, tipologías de calle, velocidad máxima admisible, número de carriles por sentido, colocación de pasos de peatones, creación de rotondas, modificación de la altura, colocación de centroides, etc.





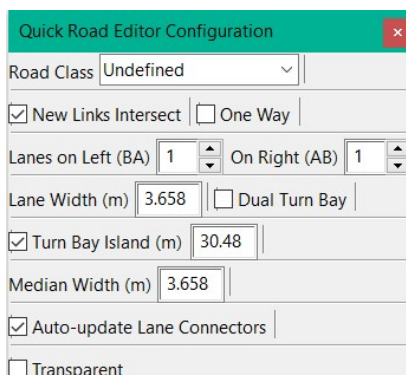
Figura 3-2. *Road Editor Toolbox*

3.3.1 Trazado

Este apartado se basa en el uso de . Una vez pulsado, permite la selección de la vía de interés y su variación en el trazado. Las opciones  sirven para eliminar o guardar los cambios, respectivamente.

3.3.1.1.1 Creación o eliminación de una vía

Para eliminar una vía, solo es necesario pulsar , y para crearla . En cuanto a las características de la vía que se va a crear, se puede modificar tras ser creada (*ver apartado 3.3.2 Geometría*), o, por otra parte, indicar las características en la barra inferior que aparece en el programa.



Quick Road Editor Configuration

Road Class: Undefined

☒ New Links Intersect ☐ One Way

Lanes on Left (BA): 1 On Right (AB): 1

Lane Width (m): 3.658 ☐ Dual Turn Bay

☒ Turn Bay Island (m): 30.48


Median Width (m): 3.658

☒ Auto-update Lane Connectors

☐ Transparent

Figura 3-3. Características de una nueva vía

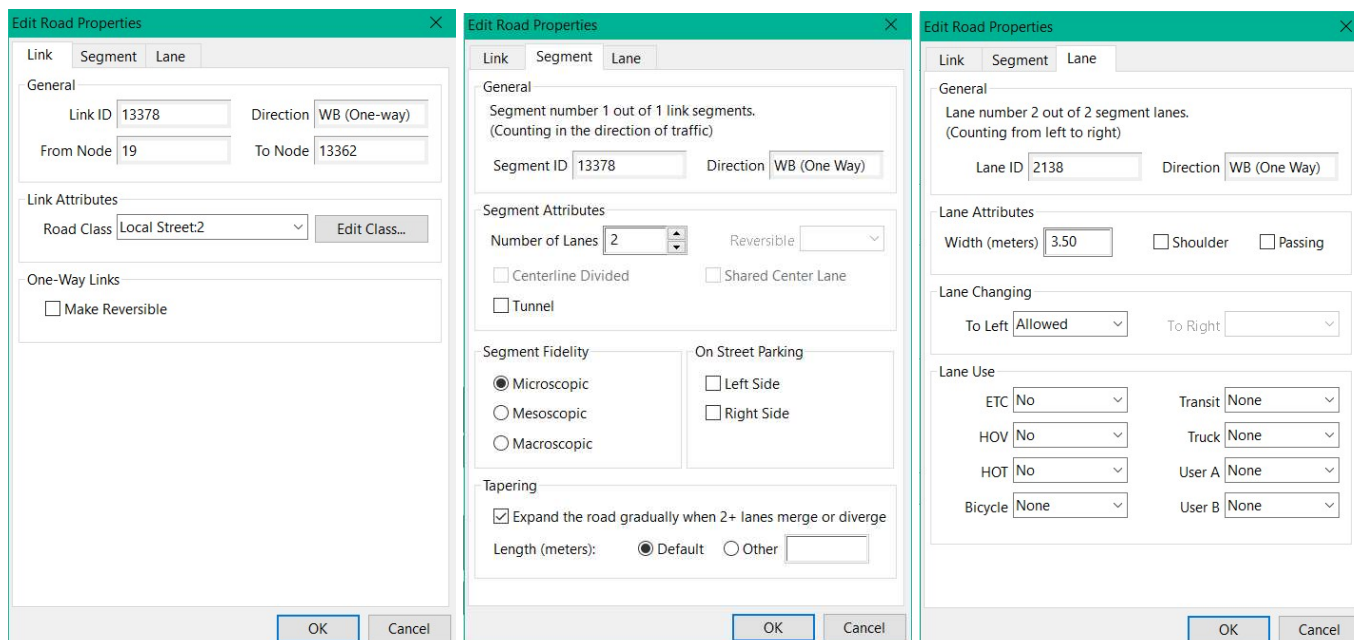
3.3.2 Geometría

TransModeler permite modificar el número de carriles por sentido, así como la designación de una vía como sentido único. Para modificar el sentido del segmento seleccionado, se utiliza .

El cambio del número de carriles se puede realizar de dos formas diferentes:

- La primera sería directamente sobre “*Road Editor Toolbox*”, en la opción de “*Add Lane*” o “*Delete Lane*”,  .

En el caso de la creación de un nuevo carril, hay que tener en cuenta que sus características se definen por medio del cuadro anteriormente mostrado (Véase Figura 3-3).



Edit Road Properties - Link Tab

Link ID: 13378 Direction: WB (One-way)

From Node: 19 To Node: 13362

Link Attributes: Road Class: Local Street2

One-Way Links: ☐ Make Reversible

Edit Road Properties - Segment Tab

Segment number 1 out of 1 link segments. (Counting in the direction of traffic)

Segment ID: 13378 Direction: WB (One Way)

Segment Attributes: Number of Lanes: 2 Reversible: ☐ Centerline Divided: ☐ Shared Center Lane: ☐ Tunnel: ☐

Segment Fidelity: ☒ Microscopic ☐ Mesoscopic ☐ Macroscopic

On Street Parking: ☐ Left Side ☐ Right Side

Tapering: ☒ Expand the road gradually when 2+ lanes merge or diverge Length (meters): ☒ Default ☐ Other

Edit Road Properties - Lane Tab

Lane number 2 out of 2 segment lanes. (Counting from left to right)

Lane ID: 2138 Direction: WB (One Way)

Lane Attributes: Width (meters): 3.50 ☐ Shoulder ☐ Passing

Lane Changing: To Left: Allowed To Right: ☐

Lane Use: ETC: No Transit: None HOV: No Truck: None HOT: No User A: None Bicycle: None User B: None

Figura 3-4. Edit Road Properties

- La segunda opción sería haciendo uso directamente del cuadro “*Edit Road Properties*”. Como se observa en la figura, es posible modificar el número de carriles, el ancho de los mismos, entre otros.

3.3.3 Clase de vía

Las clases de vía hacen referencia a vías en función de su velocidad, y tipología (rotonda, autopista, zona residencial...), y es el parámetro más importante del modelo.

Las particularidades de cada una de estas categorías, las encontramos en la opción “*Parameters→Edit Road Classes...*”. Aquí se pueden alterar las características generales de cada una de estas clases, así como aquellas dependientes del análisis que se vaya a realizar (microscópico, mesoscópico, macroscópico). En el modelo microscópico se permite la modificación de la velocidad, y “*Desired Speed Distribution*”, pero es necesario modificar la velocidad límite en el modelo mesoscópico para evitar discordancias entre ambos modelos.

En cuanto a las clases de vías que se han utilizado para la definición de este modelo encontramos las relacionadas con el acceso a las autopistas (*Access Road*), también se utilizan las correspondientes a zonas residenciales (*Local Street*) y las referentes a las autopistas (*Freeway*). Para cada una de estas tipologías se encuentran diferentes velocidades y clases de distribución de la velocidad (*Desired Speed Distribution*).

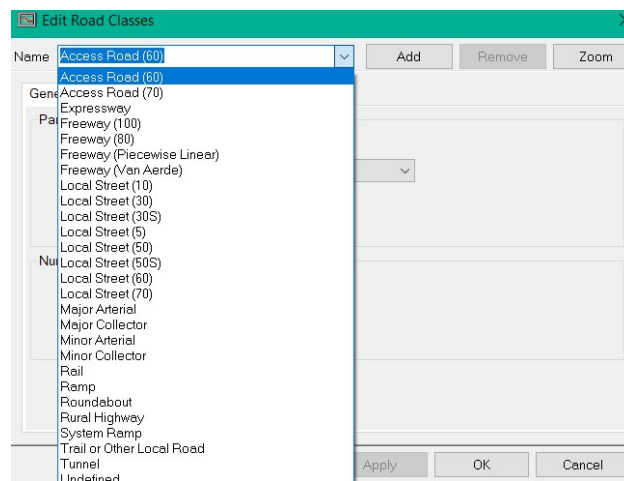


Figura 3-5. *Edit Road Classes*

“*Desired Speed Distribution*”, está asociado al límite de velocidad. Se encuentran 6 tipologías de esta característica en el programa, de las cuales se utilizarán:

- *Standard*.
- *School Zone (S)*: representa la responsabilidad del conductor de respetar los límites de velocidad en las zonas escolares.

Existe un tipo llamado *Work Area* que puede dar lugar a confusión. Esta se refiere a zonas en las que estén actuando, es decir, puntos en la vía o cercanos a la misma en la cual se den actividades relacionadas con la construcción (rehabilitación del firme en un punto localizado, por ejemplo).

TransModeler tiene integrado una serie de fórmulas para el cálculo de la velocidad de vehículos en función de las tipologías asignadas anteriormente y la actitud de los conductores, pero no se considera de especial relevancia tratarlo más a fondo.

3.3.4 Elevación

En el programa es posible consultar la elevación de una vía en todos los puntos que definen su trazado. Así mismo, es posible modificar la altura de cada uno de esos puntos. Haciendo doble clic sobre cualquiera de los puntos que definen el segmento, aparecerá una ventana en la cual se modifica directamente la altura de la misma. Si, por el contrario, se pulsa sobre la vía, sin especificar ningún punto, emergerá en una nueva ventana el perfil longitudinal de la misma, siendo posible la modificación y elección de cualquier particularidad que aparece en la misma.



Figura 3-6. *Edit Elevation*

3.3.5 Centroides

En el *Capítulo 5* se explican los pasos necesarios para la obtención de la **Matriz O-D**. Para realizar la microsimulación, es necesaria la definición de nuevos centroides que delimiten la zona. En este apartado se dan las indicaciones para la obtención de dichos centroides.

Una vez abierta la ventana *Road Editor Toolbox* (Ver Figura 3-2), para la creación del nuevo centroide, basta con dibujar la línea conectora desde la vía que se quiera hasta la situación del centroide deseado.

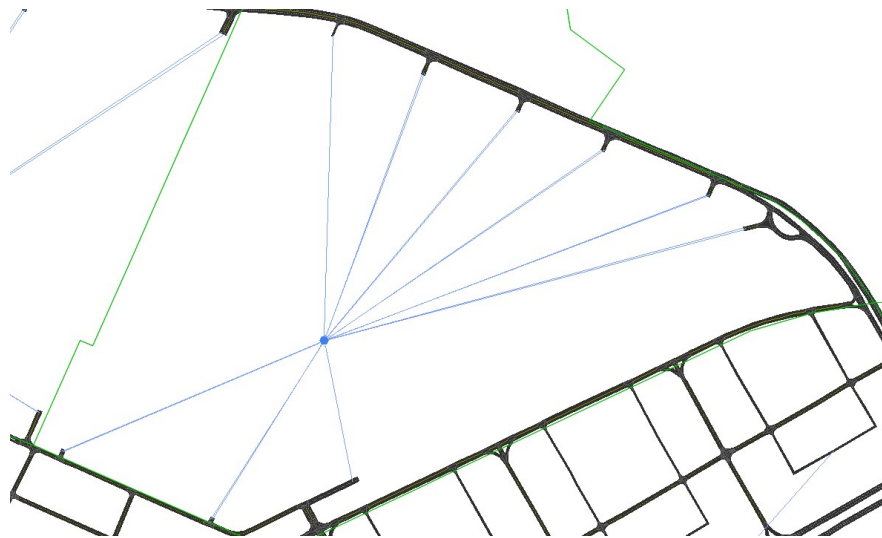


Figura 3-7. Ejemplo de centroide y líneas conectoras: Centroide 117 (Alcosa)

En la zona de estudio se pueden diferenciar dos tipos de centroides:

- **Centroides y sus zonas correspondientes pertenecientes al barrio de estudio**, incluyendo las aquellos que representan a los barrios de Alcosa y Torreblanca. Esta información ha sido proporcionada por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.
- **Centroides delimitadores de la zona de estudio**: Una vez identificadas las zonas y los centroides, se procede con la búsqueda de aquellas vías del modelo microscópico por las que se dan entradas o salidas de usuarios a la zona de estudio, estableciendo un punto de delimitación del sistema.

Estos pasarán a ser nuevos centroides de la red. En este caso se identifican 16. Tras esto, se busca la correspondencia de dichas vías con la red simplificada del modelo macroscópico (Ver Figura 3.10- Puntos de Delimitación del Sistema).

Los números correspondientes a cada uno de estos nuevos centroides irán desde el valor 301 al 316, para evitar posibles coincidencias con los 255 centroides que componen a la provincia de Sevilla.

Las identidades de cada uno de estos centroides se pueden consultar en el *Anexo 1: Plano 2.- Centroides*



Figura 3-8. Puntos de delimitación del Sistema (▼) y centroides Distrito Este (⊙)

3.4 Composición final del modelo

Tras las operaciones anteriormente mostradas, se obtiene una red compuesta por:

- Centroides: 28
- Líneas conectoras de centroides: 374
- Vías: 1585
- Carriles: 2939
- Intersecciones: 1107


4 INTERSECCIONES

La existencia de una intersección, implica el establecimiento de los movimientos posibles (*Lane Connectors*), la prioridad de los mismos (*Stop or Yield*), así como la presencia de semáforos y la definición de sus características.

La finalidad de este capítulo es la caracterización de cada una de las intersecciones que existen en la zona de estudio, ya sean de tipo semafórica, o por señalización. Para cada una de estas tipologías, se deben establecer una serie de particularidades que se explican a continuación.

Los datos correspondientes a las intersecciones semafóricas han sido facilitados por El Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte. La información necesaria para la definición de las intersecciones por señalización, se han obtenido por observación propia de la zona de estudio.

4.1 Líneas conectoras

La introducción o eliminación de los movimientos posibles de un carril en una intersección se introducen en el programa mediante las opciones: . Una vez seleccionado una de estas opciones, basta con dibujar, a mano, la conexión deseada en la intersección correspondiente.

TransModeler, siempre que se tenga activada la pestaña *Auto-Update Lane Connectors* dentro de la ventana *Quick Road Editor Configuration* (Figura 3-3. Características de una nueva vía), coloca los conectores automáticamente.

El problema reside en que el programa realiza estas uniones “al azar”, es decir, dibuja alguna de las líneas que identifica como posibles. Muchas veces, lo que muestra no es lo que realmente está permitido, por ello, se recomienda, al menos, una comprobación de las líneas conectoras que ha colocado el programa, con el fin de evitar posibles errores en la geometría que influya directamente en los resultados que se obtienen.

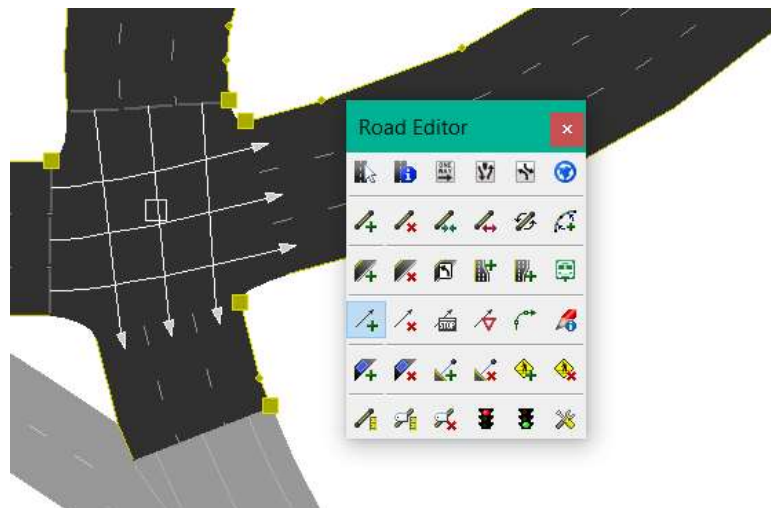


Figura 4-1. Add/ Delete a Lane Connector

4.1.1 Connectivity

Las líneas conectoras no solo se deben definir cuando se dé la intersección entre dos o más vías, también se deben de establecer en aquellos tramos donde se de la reducción o aumento de un carril de la sección.

La reducción de un carril en una vía, implica la necesidad del cambio de carril de los vehículos que circulen por el mismo. Normalmente, los usuarios que deben de realizar dicho cambio tienen una obligación de ceda al paso. El programa trata esto por medio de la conectividad (“*Connectivity*”) de estas líneas conectoras.


El campo de conectividad puede variar entre 1 y 0. El valor 1 representa que todos los usuarios pueden hacer uso de esta línea conectora, y en el caso de disminución del número de carriles, da lugar a un conflicto de conectividad. Sin embargo, cuando este valor es menor que 1, se dan dos tipos de conductores:

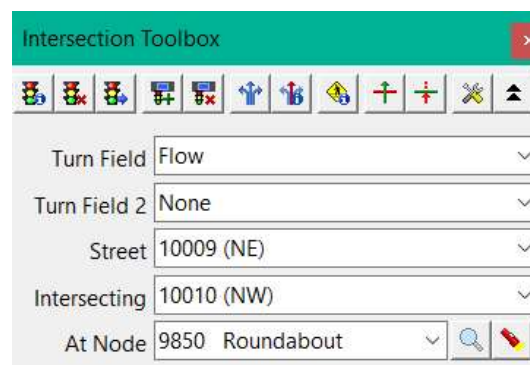
- El contenido impuesto, α , en la conectividad representaría a aquellos conductores que no tienen conciencia de la necesidad de ceder el paso, y, por tanto, utilizarán la línea conectora sin fijarse en los vehículos que circulen por el carril adyacente.
- Los $1-\alpha$ conductores restantes, serían aquellos que intentarían un cambio de carril previo al final del mismo por el que circulan.


En el proyecto, se establece un valor de 0.3 para la conectividad en aquellas líneas conectoras donde se dé el conflicto expresado anteriormente, y un valor de 1 para todos los conectores restantes. Con el valor establecido 0.3 lo que se consigue es que existan usuarios que decidan tomar dicho conector, puesto que un valor de 0, a pesar de ser lo más seguro, no reflejaría la realidad.

Figura 4-2. *Connectivity*

4.2 Intersección

La localización de intersecciones conlleva un cambio de cuadro de edición. En este caso hay que localizar el icono que da paso a “*Intersection Toolbox*” . Una vez se pulse, aparecerá un cuadro emergente (“*Intersection Toolbox Configuration*”), donde se debe de introducir los archivos en los cuales se desea guardar la información, además de permitir la modificación de otras particularidades.

Figura 4-3. *Intersection Toolbox*

Si se desea la modificación de una de las intersecciones hacer clic en “*Edit Intersection Control*”, , tras el cual aparece una ventana donde se define el tipo de control que existe en dicha intersección, a la vez de la posible modificación de las características de la misma.

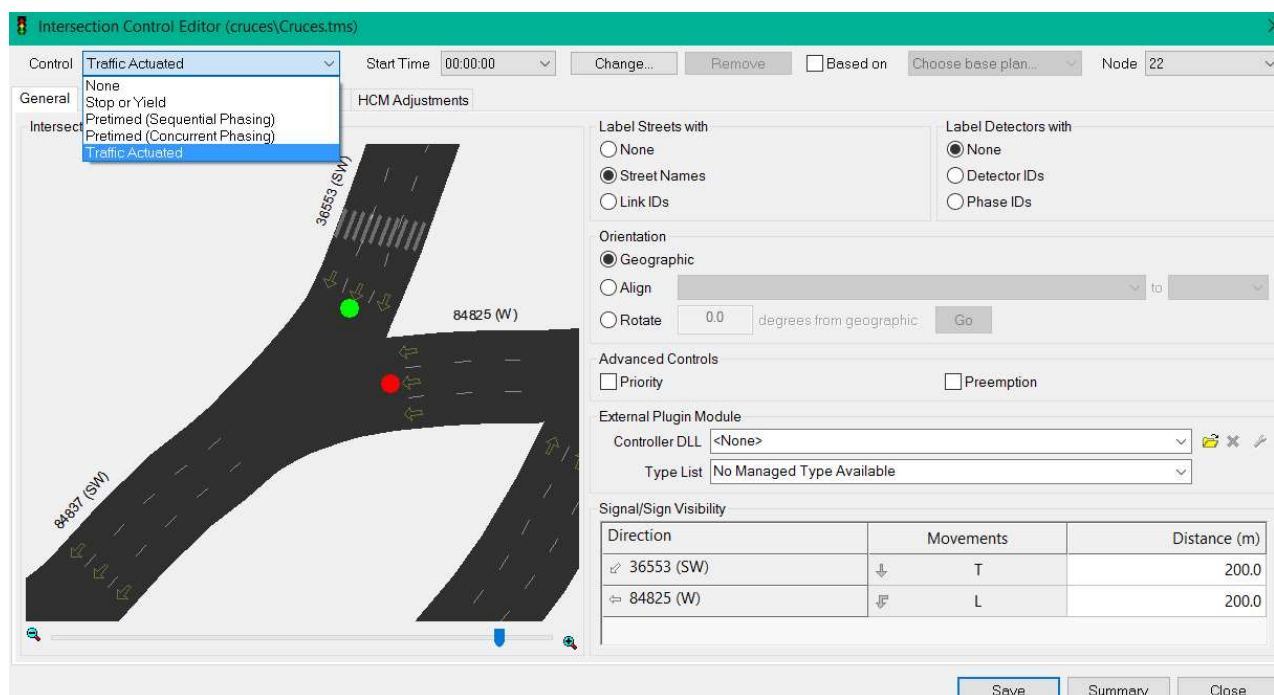


Figura 4-4. *Intersection Control Editor*

4.2.1 Intersección por señalización: “Stop or Yield”

Muchas intersecciones no se rigen por la presencia de semáforos, sino que estas presentan una señalización que restringe el paso libre a través de la misma. Los cruces mencionados anteriormente, son los que presentan las señales de Ceda el Paso (▼) y Stop (STOP).

Para la modelización en el programa, desde “*Intersection Control Editor*”, (Figura 4-3.), basta con seleccionar el tipo de control “*Stop or Yield*”.

El programa permite tratar hasta un máximo de 6 intersecciones por modificación. Esto tiene mayor interés en las intersecciones con control semafórico, puesto que permite la coordinación de todos los semáforos que componen dichas intersecciones.

Una vez seleccionado este tipo de control, se pueden modificar las características generales de las intersecciones, visualizar los movimientos permitidos (pestaña “*Turn*”) y colocar las señales necesarias en las mismas en la pestaña “*Stop/Yield Signs*”.

Para la modificación de las señales, se puede hacer doble click sobre la señal que se desee cambiar en la visualización de la izquierda, o manualmente en el cuadro que se presenta en la derecha de la ventana.

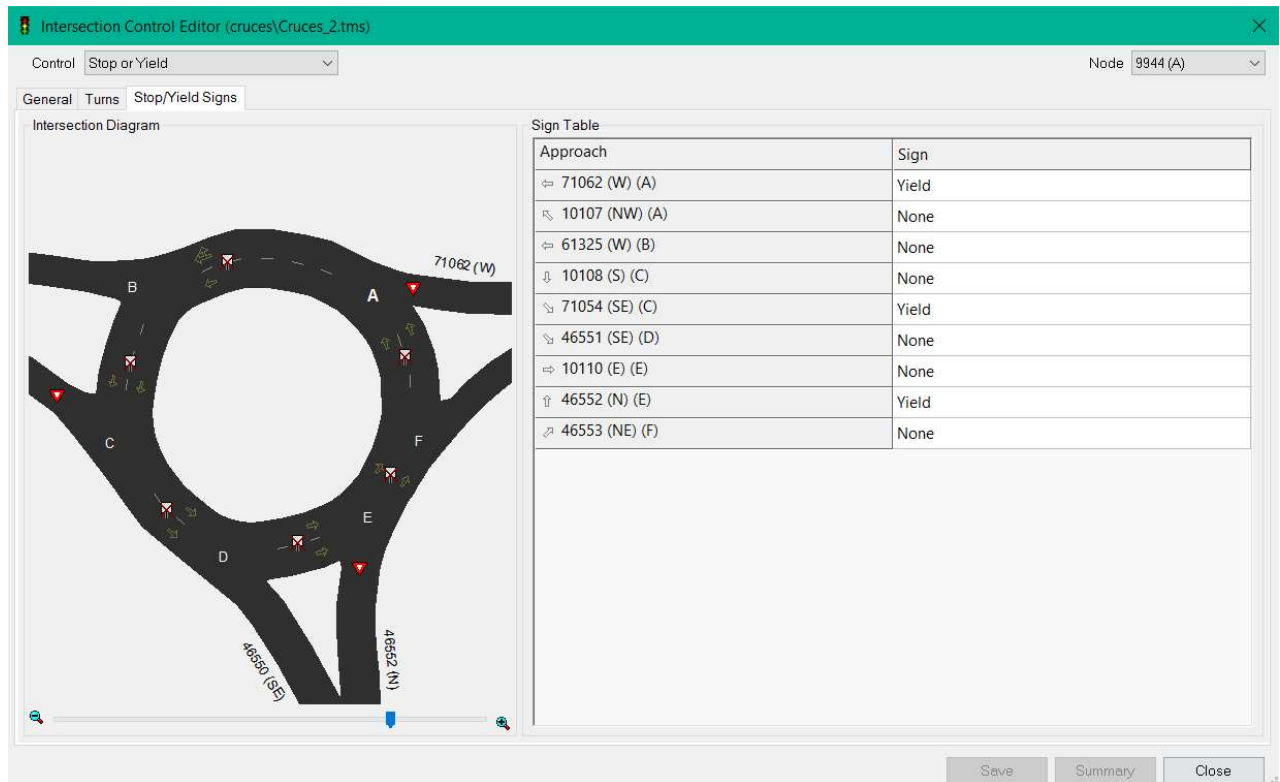



Figura 4-5. Control Stop or Yield: Stop/Yield Signs

4.2.2 Visualizar prioridad de paso

Una vez definida la conectividad (Apartado 4.1.1) y establecidas las señales que se muestran en el apartado anterior, es posible la visualización de la prioridad de paso.

Esto se consigue recurriendo al cuadro “*Intersection Toolbox*” que se muestra en la *Figura 4-3*.

Mediante los botones:  (mostrar menor/mayor prioridad, respectivamente) y pulsando sobre el conector sobre el que se busque información, este se colorea mostrando la prioridad de paso.

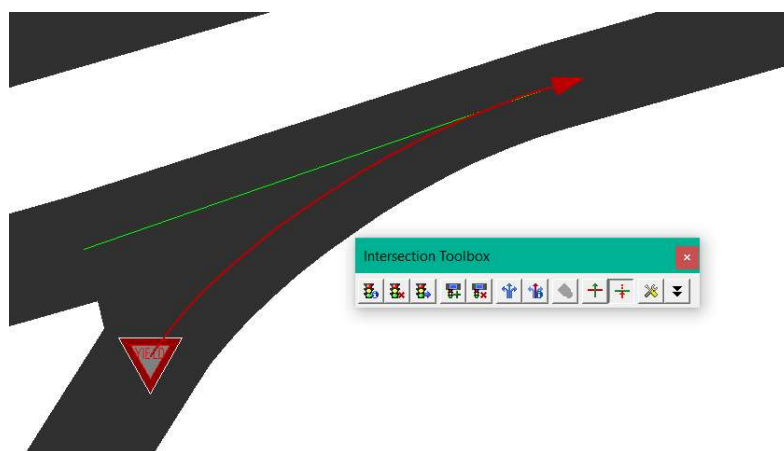


Figura 4-6. Visualización de prioridad

4.2.3 Intersección semafórica

Otro tipo de intersecciones, como se ha comentado anteriormente, es aquella que está controlada por semáforos. Toda intersección semafórica, requiere un estudio y una coordinación de fases entre los semáforos que la componen.


Dada la información prestada por el departamento, anteriormente mencionado, se dispone a la caracterización de cada una de estas intersecciones.

Dentro de la ventana “*Intersection Control Editor*” (ver Figura 4-4.) se da la oportunidad de elegir tres tipos de control semafórico:

- *Pretimed (Sequential Phasing)*: las fases que se definan en la tabla de fases se ejecutarán en el mismo orden que se han determinado. La fase coordinadora del ciclo es la primera fase definida.
- *Pretimed (Concurrent Phasing)*: el orden de las fases se establece en la tabla de anillo/barrera. (“*Ring and Barrier*”). Se diferencia de la anterior en el campo de la coordinación, puesto que en este se puede decidir la fase coordinadora.
- *Traffic Actuated*: parecido a la tipología anterior, pero en esta se permite la modificación de más variables.

Dada la limitada información que se posee, y con el fin de mayor simplicidad, se decide elegir la opción de *Pretimed (Secuential Phasing)*, en la cual se establece la información más relevante: Coordinación, Offset, tiempo de la fase, definición de la fase...

En esta opción, tras coordinar las fases, se introducen los valores de OFFSET en segundos, y más tarde el valor que ocupa cada una de las fases en el ciclo previsto (*Split*), así como el tiempo en amarillo y rojo de cada una de estas.

Tras la configuración anterior, se establecen las fases. Para un completo control de la señalización del semáforo, se recomienda ejecutar las variaciones de dichas señales luminosas por medio de la tabla. Para ello, es necesario activar esta opción por medio del botón: . Cada señal luminosa debe de controlar todos los movimientos que se posibiliten desde ese punto, es decir, tiene relación con los *lane conectors* que se han definido anteriormente.

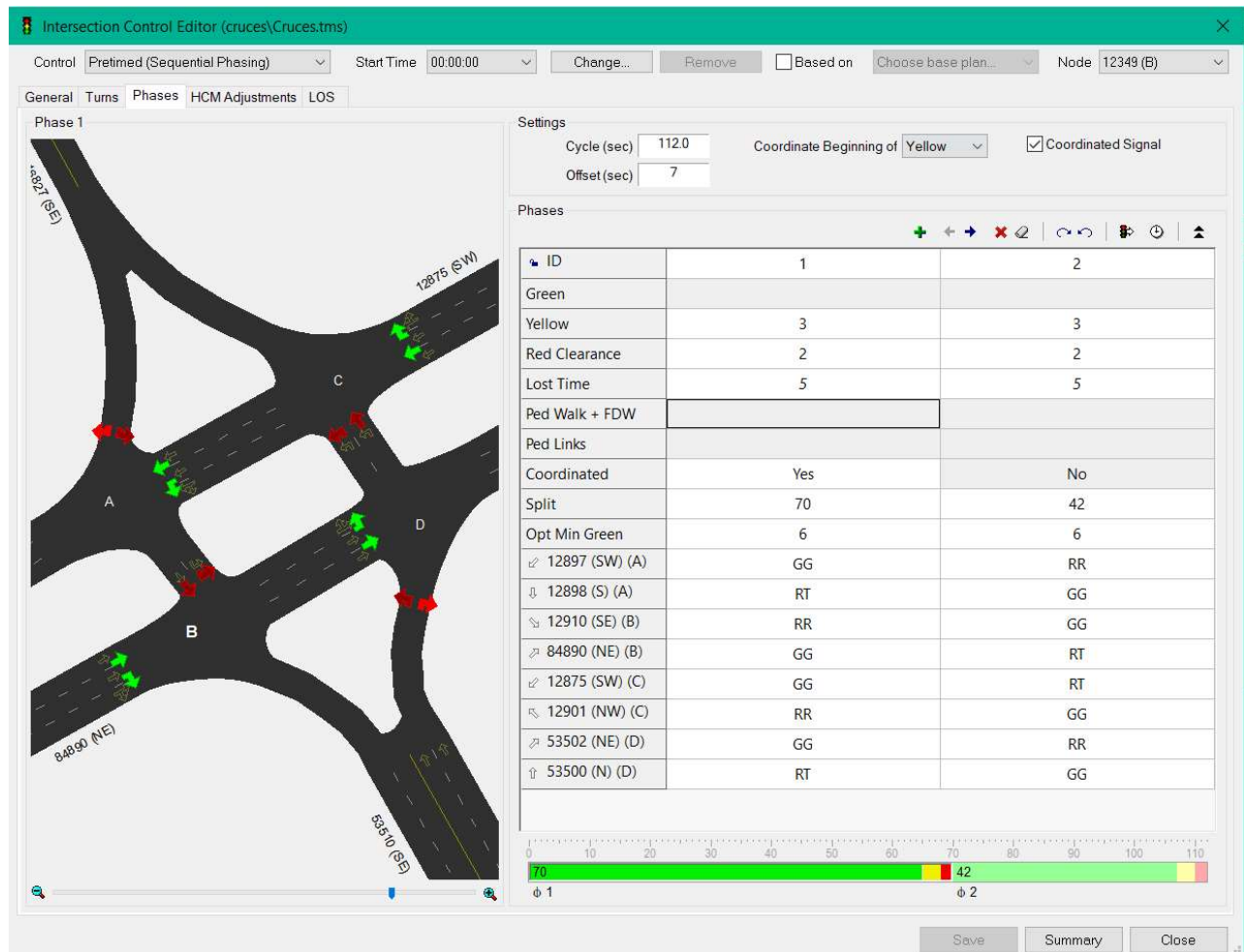


Figura 4-7. Pretimed (Sequential Phasing)

Las intersecciones pueden ser modificadas una por una, o en el caso de rotondas o grandes cruces cuyos semáforos vienen relacionados, se pueden elegir hasta un máximo de seis intersecciones. En el caso de exceder dicho número, se tendrá que definir la completa intersección (por ejemplo, una rotonda con 8 salidas reguladas por semáforos), partiéndolos en al menos dos rondas.

En el modelo se han establecido 4 tipos de colores semafóricos:

- G y R: hacen referencia a los colores verde y rojo.
- T: representa el naranja intermitente de paso con precaución.
- O: ocultar semáforo.

4.3 Composición final


Teniendo en cuenta que existen 1107 intersecciones, la caracterización de cada una de ellas ha llevado a la obtención final de:

- Líneas conectoras: 3943

- Señales ceda al paso: 312
- Señales Stop: 127
- Semáforos: 251

4.4 Comprobaciones

Antes de comenzar la simulación, se recomienda una comprobación de posibles fallos en la red. Estos errores pueden estar producidos por vías con geometría mal definida, falta de conectores, conflicto de conectividad...

Para chequear la red, pulsar el botón: . Las características de la comprobación que se desea realizar se configuran en la ventana emergente.

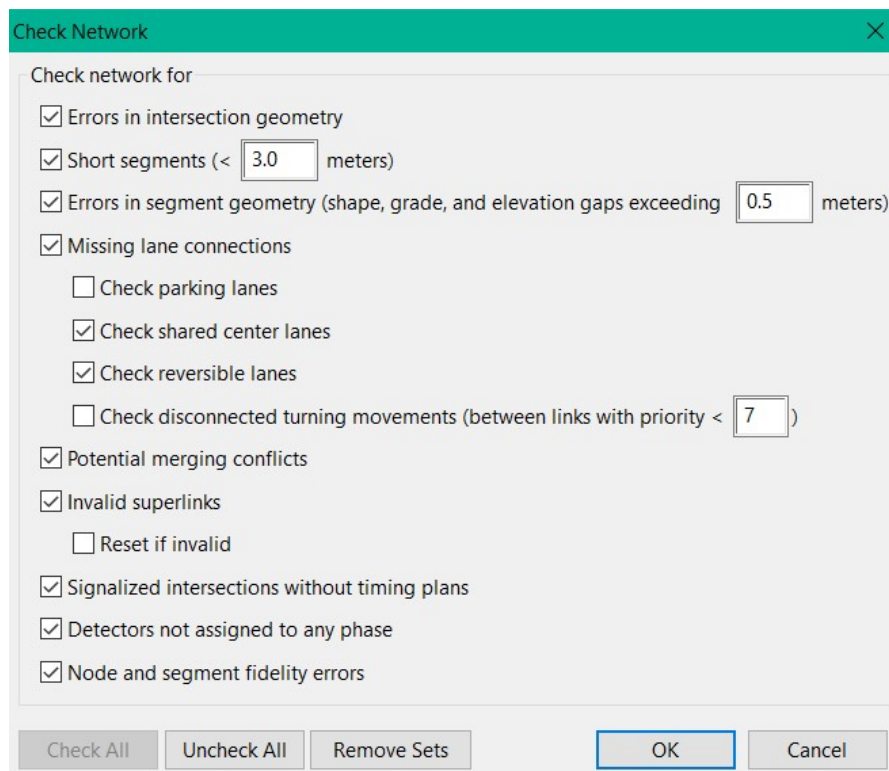


Figura 4-8. *Check Network*

5 MATRIZ O-D

Para poder completar el modelo, es necesaria la obtención de la matriz de origen-destino correspondiente a la zona de estudio. En este apartado, se explican los procedimientos necesarios para la elaboración de dicha matriz.

Partiendo de la matriz O-D del 2007 de Sevilla en Hora Punta, se realizan una serie de acciones a través de TransCAD para poder extraer toda aquella información relativa a Sevilla Este.

Los datos para cada uno de los puntos de delimitación del sistema (centroides 301-316) se obtienen a partir de asignaciones a través de TransCAD, y consultas, vía Access, de las tablas extraídas, procesos los cuales son explicados a continuación.

Hay que diferenciar tres tipos de usuarios:

- Aquellos que realizan movimientos intrazonales.
- Todos los que tengan como Origen o Destino centroides correspondientes al Distrito Este (movimientos extrazonales)
- Usuarios de paso.

Cada uno de estos usuarios se corresponden con una de las 4 submatrices que componen a la Matriz global de O-D.

5.1 Justificación: Matriz OD 2007

Como se ha mencionado, la matriz de la que se extrae la información necesaria es la correspondiente a la encuesta de movilidad realizada en 2007, en el ámbito de Sevilla.

Esta matriz se realizó hace 10 años. En este tiempo, la zona de estudio, ha crecido considerablemente, encontrando nuevas grandes edificaciones que por aquellos años no existían, por tanto, se puede considerar desfasada.

Sin embargo, la situación del país durante estos años no ha sido favorable al crecimiento del uso del vehículo privado, dado que la crisis sufrida y el desempleo al que conllevó, redujo significativamente dichos movimientos.

Otra posible crítica al uso de esta matriz sería la implantación del metro en Sevilla tras la obtención de la misma. Como ya se comentó anteriormente, en la superficie ocupada por Sevilla Este, no se encuentra ninguna parada, siendo necesario un desplazamiento a zonas externas para el uso de este transporte público.

A pesar de lo anterior, se cree correcto el uso de esta matriz, puesto que es el único dato del que se ha dispuesto. Explicadas las deficiencias que puede poseer la matriz, en el caso de existir discrepancias con los datos reales, como por ejemplo grandes diferencias con los aforos que se encuentran en la zona, se realizarán los ajustes convenientes.

5.2 Movimientos intrazonales

Tras la justificación de la matriz utilizada, se muestran los procesos que han sido necesarios para la obtención de los datos de interés.

Los movimientos intrazonales son aquellos que tienen como origen y destino zonas dentro del lugar en estudio, es decir, los centroides de origen/destino se corresponden con aquellos que componen el Distrito Este.

Esta información se obtiene directamente de la matriz de O-D en Hora Punta, y son los siguientes:

Tabla 5–1. Matriz O-D en Hora Punta movimientos intrazonales

CENTROIDES	115	116	118	117	119	122	124	129
114		27.67						
116				11.94				
118	16.34	23.66			21.10	16.36		
117		36.18						
119		38.03	32.18			20.00		
120		40.68					21.04	
122					8.06			
124								20.33
125		21.11						

En este caso, se ha introducido los centroides correspondientes a los barrios de Alcosa y Torreblanca, puesto que tienen accesos directos con el barrio de Sevilla Este.

5.3 Movimientos extrazonales

Para obtener los movimientos extrazonales, es decir, aquellos que tienen como Origen/Destino Sevilla Este y como Destino/Origen alguno de los puntos que delimitan el sistema, es necesaria la realización de consultas tanto en TransCAD como en Access.

5.3.1 Asignación en TransCAD

En primer lugar, habría que obtener el valor total del flujo en cada uno de los sentidos de las vías que delimitan el sistema. Para ello, se realiza un “*Static Traffic Assignment*”, cuyos pasos para realizarlo se describen a continuación.

5.3.1.1 Vías Públicas/Privadas

Partiendo de la red simplificada del modelo macroscópico, es necesaria la distinción entre las vías de uso público y privado, donde habría que excluir a aquellos ejes correspondientes, por ejemplo, a vías ferroviarias.

Conociendo esto, tras cargar el archivo .dbd que contiene esta red, proporcionado por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, se realiza una selección de aquellas vías en las que se centra el problema, las de uso público.

Con este objetivo, se realiza una selección por condición, donde se buscan aquellas vías cuyo atributo “NOPRIVADO” sea distinto de 1 (condición que se obtiene tras un análisis de las características de cada una de las vías de la red proporcionada).

Tras esto, se obtiene un nuevo conjunto de vías, el cual se utilizará para la creación de la red necesaria para la asignación.

5.3.1.2 Red del Sistema

La red del sistema se define a través de la pestaña “*Network/Paths*”. En primer lugar, es necesario crear la red, y más tarde modificar sus características.

En el proceso de creación de la red, es necesaria la selección de parámetros a partir de los que se desee crear la red, “*Link Fields*”, que son atributos presentes en el archivo facilitado por el departamento.

La modificación de las características de la red creada se hace a través de la opción “*Settings*”. En este caso se modificarán las características para impedir los movimientos tipo U.

5.3.1.3 Asignación del tráfico

La asignación del tráfico relaciona los centroides de la red, teniendo en cuenta la matriz de origen-destino, con el viario existente. Por esto, es necesario tener la matriz en formato .mtx abierta, así como una capa de centroides en el archivo sobre el que se está trabajando.

La asignación comienza pulsando la pestaña “*Planning*”, y, dentro de esta, “*Static Traffic Assignment*→*Traffic Assignment*”.

En la nueva ventana se configuran los parámetros, así como el método de resolución (*BFW*). Tras aceptar la asignación, el programa ejecuta las interacciones requeridas, dando como resultado el flujo en cada uno de los sentidos de las vías.

Para conocer el número de vehículos que pasan por las vías que delimitan la zona de estudio, es necesario buscar la información de estas, mediante una selección de las mismas y la búsqueda en la tabla de atributos de la capa, teniendo en cuenta la topología de las mismas para determinar el sentido AB_BA, en los campos: “*AB_Flow BA_Flow*”


5.3.2 Constructor de consultas en TransCAD

Este apartado tiene como finalidad la identificación de aquellos vehículos con origen o destino el Distrito Este, que entren o salgan del sistema por uno de las vías delimitadoras de la zona de análisis. Para ello se utilizará la herramienta de TransCAD llamada “*Select Link/ Zone Query Builder*”.

Una vez aparece la ventana correspondiente a esta herramienta, se debe añadir una nueva consulta. En este caso, se explica como un ejemplo:

Ejemplo 5-1. *A continuación, se explican los pasos a seguir para la determinación del tráfico que pasa por una de las vías que delimitan el sistema. En este caso, se escoge un punto que se encuentra en la Autovía de Circunvalación SE-30, antes del enlace existente con la A-92 (Ver Figura 5-1).*

Al tratarse de una autovía, cada carril corresponde a uno de los sentidos de flujo, por tanto, el tipo de consulta que se debe realizar es “OR” que se puede modificar en el propio editor de la consulta.

Para seleccionar los Links implicados, se puede realizar introduciendo manualmente la ID de los mismos, o mediante el botón  y seleccionando dichos links. En este caso, los links seleccionados aparecen en rojo.

Finalmente, la consulta realizada sería: identifica aquel flujo de vehículos que concurran por esta vía (Link 2132) O por la vía del sentido contrario (Link 964).

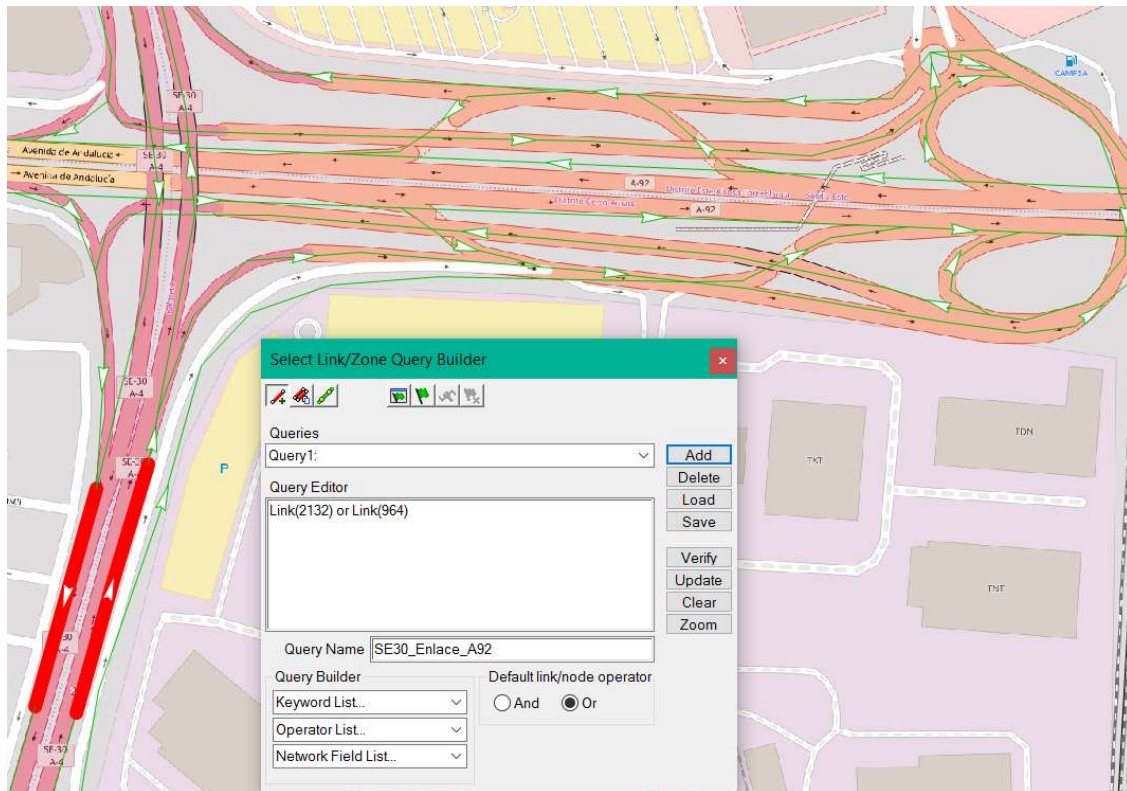


Figura 5-1. *Select Link / Zone Query Builder SE30_Enlace_A92*

Una vez se haya realizado la consulta, se ejecuta de nuevo la asignación del tráfico. Este proceso es igual que el explicado en el apartado 5.2.1.3. *Asignación del Tráfico*, pero con la diferencia de tener que introducir la consulta en la propia ventana de la asignación.

Para incluir dicha consulta, basta con acceder a “Options”. En esta ventana de opciones, se debe habilitar el análisis de consultas, y buscar el archivo creado en el *Ejemplo 5-1*.

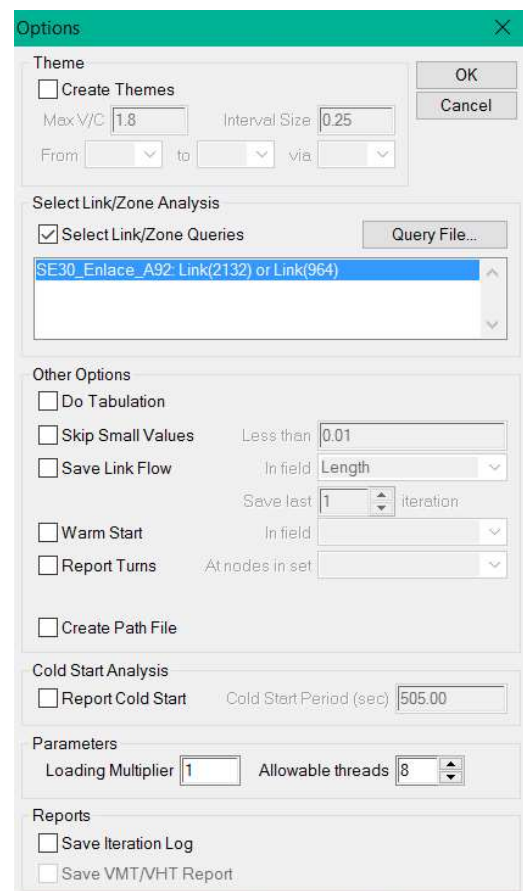


Figura 5-2. *Options: Zone Queries*

5.3.3 Exportación de Matrices TransCAD

Una vez se acepte la asignación y se cree el archivo, se obtendrá una matriz que se ajusta a la consulta realizada, la referente a aquellos vehículos con origen en el centroide **I** y destino el centroide **J** que pasen por las vías señaladas.

A continuación, se debe de exportar dicha matriz en formato: “**I | J | Valor**”. Esto se consigue en “*Matrix → Export...*”. La tabla que se creará debe estar en formato .csv, y la razón de este formato es facilitar las consultas que se desarrollarán más tarde mediante el programa **MS Access**.

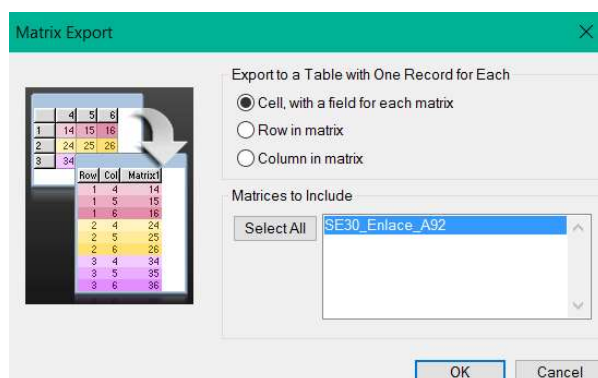


Figura 5-3. *Matrix Export*

5.3.4 Consultas vía Access

Por cada una de las vías que forman los puntos delimitadores del sistema, se obtiene una tabla diferente (16 en total en este caso). Tras esto, es necesario el análisis de los datos para determinar aquellos que tienen origen/destino Sevilla Este.

Antes de comenzar las consultas, es necesario realizar una tabla nueva en la cual se localicen los centroides que afectan a la zona de estudio:

Tabla 5–2. Centroides de la zona de estudio

ID	ZONA-CENTROIDE
1	115
2	114
3	116
4	117
5	118
6	119
7	120
8	121
9	122
10	124
11	125
12	129

Para una mejor visualización, se han creado tres planos donde se representan los principales flujos extrazonales y de paso. Estos se localizan en el Anexo 1: *Plano 3; Plano4; Plano5*.

Para conocer estos datos, se han realizado consultas en el programa MS Access, en concreto dos tipos de consultas para cada una de las tablas existentes. Antes de crear las consultas, se añaden, a cada tabla, tres columnas nuevas:

- **Origen Equivalente:** representa el centroide de origen para cada viaje, siempre y cuando éste se dé entre el exterior del sistema y el Distrito Este. Toma el valor de alguna de las zonas presentes en la tabla anterior o el valor del centroide externo que se esté tratando.
- **Destino Equivalente:** representa el centroide de destino para cada viaje, siempre y cuando éste se dé entre el exterior del sistema y el Distrito Este. Toma el valor de alguna de las zonas presentes en la tabla anterior o el valor del centroide externo que se esté tratando.
- **Verificada:** indica si un par O-D corresponde con alguna de las zonas presentadas en la *Tabla 5-2*. Esta casilla será rellena siempre y cuando los dos campos anteriores también lo estén.

Con estas tres columnas, se pretende tener identificados todos aquellos viajes extrazonales, que se dan entre el Distrito Este y el exterior. Para poder rellenar dichas casillas, como se menciona anteriormente, son necesarias las dos siguientes consultas:

- **Origen Sevilla Este – Destino externo:** Se basa en la conexión del campo **I** con la *Tabla 5-2* que recoge las zonas correspondientes al Distrito Este. El valor 301 que aparece en la figura mostrada a continuación, representa la identidad del centroide al cual se le está realizando la consulta, que en este caso es el mismo que aparece en el *Ejemplo 5-1*.

Campo:	OrEQUIV	DesEquiv	Verificada
Tabla:	Se30A92	Se30A92	Se30A92
Actualizar a:	[I]	301	Verdadero
Criterios:			

Figura 5-4. Consulta O interno-D externo

Con esta consulta, se pide que en aquellos campos donde los orígenes de los viajes de la tabla exportada coincidan con alguna de las zonas definidas en la *Tabla 5-2*, se reconozca como *Origen Equivalente*, y, para esos casos, el destino será el centroide que se esté estudiando (301 para este caso). La tercera columna es la verificación (☒)

- **Origen externo – Destino Sevilla Este:** Se basa en la conexión del campo **J** con la *Tabla 5-2* que recoge las zonas correspondientes al Distrito Este.

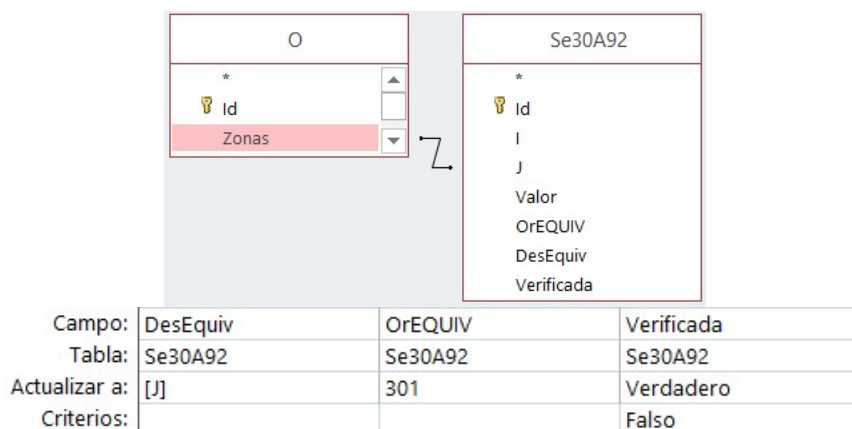


Figura 5-5. Consulta O externo-D interno

En este caso, la coincidencia con la *Tabla 5-2* nos establece el centroide interno del Distrito Este de destino, mientras que el origen corresponde al centroide consultado (301, como en el caso anterior). En cuanto al campo de verificación, se establece el criterio “*Falso*”. Lo que se pretende con esto es no actualizar campos que hayan sido ya modificados.


Una vez realizada las consultas para cada una de las tablas, se extrae directamente de ellas, mediante filtros , los valores necesarios para la formación de las submatrices de movimientos extrazonales. A continuación, se presentan las submatrices obtenidas donde las filas o columnas vacías se han eliminado.

Tabla 5–3. Submatriz: Origen Sevilla Este- Destino Externo

	301	302	303	304	305	306	307	308	310	311	313	314	315	316
114	32.30	18.01		16.45	0.34	21.94	34.06	49.83				39.62	0.00	0.00
115	37.15	43.66	0.00	0.00	45.37	31.92	11.80	63.77	18.86		0.00			0.00
116	14.44	43.92	0.00	69.53	36.06	19.89	35.18	95.61	0.00		0.00		0.00	0.00
118	33.44	54.24	0.00		88.05	52.72	4.88	151.98	0.00		0.00	11.77	0.00	0.00
117	23.34		0.00	12.52	35.39	11.90	0.00	123.15	0.00		0.00		0.16	0.00
119	84.24	19.00	32.45	72.25	227.94	21.30	5.96	77.55	0.01		0.04	14.39	0.10	34.11
120	22.58		0.00	0.40	70.78	19.20	0.00	99.20	0.00		0.00		10.74	0.00
121	16.71	12.20	101.23	28.00	0.00		0.00	54.54	0.00				0.02	19.21
122	3.98	15.90	38.42	20.06	7.90	5.62	0.00	67.52	0.00		0.00		0.00	22.81
124	102.27	17.49	0.00	42.57	286.11	72.81		105.49		18.52	0.00		0.00	0.00
125	7.94		18.14	46.30	0.00	0.00	15.40	14.68	0.00				0.09	41.68
129	8.21		43.99	22.50				0.00	0.00				22.57	45.95

Tabla 5-4. Submatriz: Origen Externo- Destino Sevilla Este

	114	115	116	118	117	119	120	121	122	124	125	129
301	28.67	0.00	187.78	52.11	0.00	64.65	0.01	83.93	108.14	200.59	69.52	35.51
303		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	155.72	167.14	0.02	47.54	173.18
304			151.62			54.34	0.00	95.53	30.40	30.03	18.07	30.07
305	0.00	17.70	125.17	45.70	0.02	114.89	0.03	0.00	29.50	36.68	14.86	0.00
306	0.00	23.12	134.44	0.04	0.00	0.11	0.00	0.00	0.09	0.01	0.05	0.00
307	10.79	0.00	227.60	14.95	17.75	32.03	18.58	31.26	42.42	16.78	11.70	0.00
308	23.54	43.33	264.89	89.02	11.79	90.05	13.13	28.41	48.36	18.36	110.34	56.69
309						17.29						
310			0.00	0.00		0.00		0.00	0.00		0.00	
311												0.00
312											48.96	
313			0.00					0.00	0.00	0.00		12.62
314				0.00					0.00			
315						21.36			0.00			9.09
316		0.00	17.33	0.00		0.61		19.04	72.59	0.01	41.40	17.67

5.4 Vehículos de paso

El número de vehículos de paso representa la gran mayoría del flujo total en el sistema. Teniendo en cuenta toda la información obtenida anteriormente, se presenta en la *Tabla 5-5* los valores de los flujos totales correspondientes a cada uno de los centroides externos que delimitan la zona, en cada uno de sus sentidos, así como los correspondientes a los usuarios de paso.

Tabla 5-5. Flujo a través de los centroides externos

		TOTAL	DISTRITO ESTE	VEH PASO
301	301-x	3000.68	830.90	2169.78
	x-301	2046.38	386.60	1659.77
302	302-x	471.12	0.00	471.12
	x-302	2176.37	224.42	1951.95
303	303-x	1789.68	543.59	1246.09
	x-303	2310.66	234.24	2076.42
304	304-x	3560.91	410.05	3150.86
	x-304	2688.40	330.58	2357.82
305	305-x	583.91	384.54	199.37
	x-305	860.52	797.95	62.58
306	306-x	1763.81	157.86	1605.95
	x-306	1930.56	257.29	1673.27
307	307-x	1345.75	423.87	921.88
	x-307	1183.24	107.28	1075.96
308	308-x	3591.76	797.91	2793.86
	x-308	4211.99	903.32	3308.66

		TOTAL	DISTRITO ESTE	VEH PASO
309	309-x	960.55	17.29	943.26
	x-309	-	-	-
310	310-x	293.04	0.00	293.04
	x-310	317.22	18.87	298.35
311	311-x	0.00	0.00	0.00
	x-311	539.29	18.52	520.76
312	312-x	162.96	48.96	114.00
	x-312	-	-	-
313	313-x	177.63	12.62	165.01
	x-313	116.49	0.04	116.46
314	314-x	623.06	0.00	623.06
	x-314	724.83	65.78	659.05
315	315-x	212.71	30.44	182.26
	x-315	61.50	33.69	27.81
316	316-x	1161.29	168.65	992.64
	x-316	1134.66	163.75	970.91
	SUMA	40000.99	7369.03	32631.96
	%	100.00	18.42	81.58

Como se observa, el tráfico de paso representa un 80% aproximadamente, por tanto, es muy importante la determinación del mismo.

La obtención de los valores de trayectos de paso a través del sistema, se realiza mediante consultas en TransCAD como se ha explicado anteriormente, con la diferencia del uso del operador lógico “AND”. Para la realización de las consultas de los vehículos de paso, es necesaria la selección de vías que pertenezcan a otros centroides externos delimitadores de la zona de estudio.

Para un mismo centroide externo, se debe realizar una consulta por cada sentido y por cada centroide externo restante, es decir, en este caso, para una vía de delimitadora del sistema que es de doble sentido, se tendría que hacer un total de **2 sentidos x 15 centroides restantes= 30 consultas por centroide de doble sentido**. Esto quiere decir, que se tendrían que realizar aproximadamente **240 consultas**, teniendo en cuenta que alguna de las vías son de un único sentido.

***Ejemplo 5–2.** A continuación se presenta un ejemplo de asignación entre el centroide 301, anteriormente tratado, y el 303, correspondiente a la salida o entrada del sistema a través de la Avenida de Andalucía.*

Tras realizar la consulta, se debe de asignar teniendo en cuenta dichas consultas, como se explica en el apartado 5.2.2. Constructor de consultas en TranCAD.

Como resultado se obtiene una matriz, donde la suma de todos sus componentes dan lugar al tráfico de paso del nodo externo 301 al 303 en este caso. Esta misma acción se tendría que repetir con los 14 centroides restantes para así obtener todos los usuarios de paso que entran al sistema a través del punto 301.

Para completar la matriz de paso, sería necesario realizar la acción anterior para los demás centroides, es decir, 302 a 301, 302 a 303, ... , 303 a 301,... , 309 a 304,....

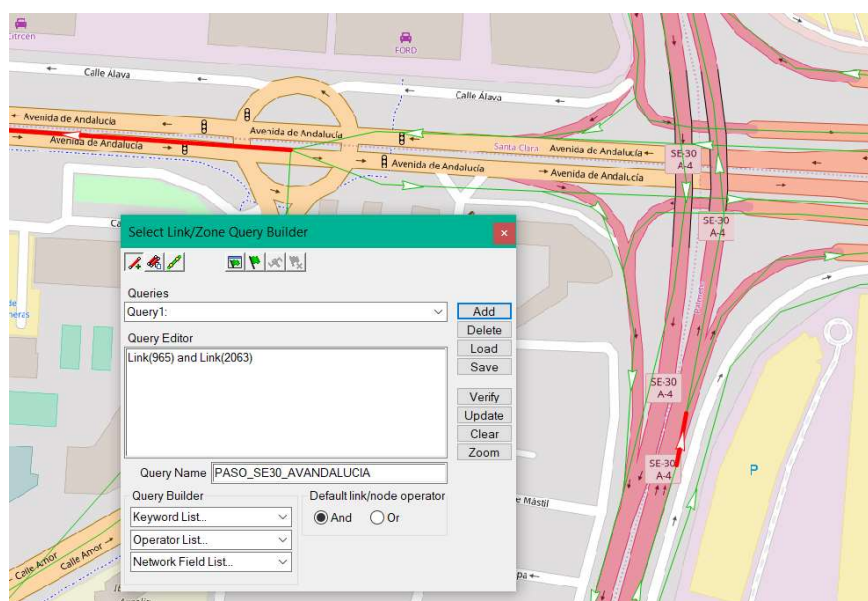


Figura 5-6. Tráfico de paso 301 a 303. (Zone Query Builder)

Finalmente, la matriz de se obtiene es la siguiente:

Tabla 5–6. Submatriz: Vehículos de paso

	301	302	303	304	305	306	307	308	310	311	313	314	315	316
301		404.56	45.85	19.34	1.55	198.53	463.72	783.51		73.32		175.95		3.45
302	133.68		59.16	83.85	1.61	44.26	16.92	79.80	7.96	11.68	3.06	13.18	0.74	27.98
303	19.17	159.01		321.03	6.15	169.44	64.80	305.51	30.47	44.74	11.72	50.44	2.82	107.11
304	172.64	416.95	593.87		16.12	444.30	169.90	801.07	79.90	117.30	30.74	132.27	7.39	280.86
305	95.1238	11.52	16.41	23.25		12.27	4.69	22.13	2.21	3.24	0.85	3.65	0.20	7.76
306	0.00	199.21	283.74	402.18	7.70		81.18	382.74	38.18	56.05	14.69	63.20	3.53	134.19
307	183.96	84.86	120.87	171.32	3.28	90.43		163.04	16.26	23.87	6.26	26.92	1.50	57.16
308	865.81	266.42	379.47	537.86	10.30	283.89	108.56		51.06	74.95	19.64	84.52	4.72	179.46
309	59.96	97.19	138.43	196.21	3.76	103.56	39.60	186.73	18.63	27.34	7.17	30.83	1.72	65.47
310	4.46	32.41	46.16	65.43	1.25	34.54	13.21	62.27		9.12	2.39	10.28	0.57	21.83
312		12.54	17.87	25.32	0.48	13.37	5.11	24.10	2.40	3.53	0.92	3.98	0.22	8.45
313	70.27	10.51	14.97	21.21	0.41	11.20	4.28	20.19	2.01	2.96		3.33	0.19	7.08
314	50.47	65.20	92.86	131.62	2.52	69.47	26.57	125.26	12.49	18.34	4.81		1.15	43.92
315	4.23	19.63	27.95	39.62	0.76	20.91	8.00	37.71	3.76	5.52	1.45	6.23		13.22
316	0	117.62	167.53	237.46	4.55	125.34	47.93	225.98	22.54	33.09	8.67	37.31	2.08	

5.5 Configuración de la matriz

Tras realizar todo lo anterior para cada uno de los centroides, se obtiene un total de 24 050.57 viajes en la zona de estudio, los cuales han de introducirse en TransModeler.

La configuración de la matriz se realiza a través de este código comercial. En este caso se le atribuye un espacio temporal que comprende de las 8:00:00 a 9:00:00. A pesar de que la hora punta se estableciera de las 7 a las 10 de la mañana, la razón por la que se decide este tramo horario es debido a que la matriz representa la peor hora en hora punta, por ello, realizar una simulación de 3 horas con el peor tráfico de todos no sería factible, puesto que no representaría la realidad.

En cuanto a las unidades de la matriz, se ha decidido escoger vehículos/hora, aunque en este caso, coincidiría con la opción de vehículos en el intervalo temporal anteriormente establecido.

La distribución del tiempo se establece como constante en el tiempo, y la distribución de la salida de vehículos se decide escoger la tipología uniforme.

Tras todo lo anterior, basta con introducir los valores de la matriz en el programa y definirla en los ajustes del proyecto.

5.6 Matriz global del sistema

Reuniendo las submatrices anteriores, se introduce en el programa la siguiente matriz:

[illegible]

6 AFOROS Y SENSORES

Para conocer la aproximación a la realidad del modelo, es necesaria la implantación de sensores los cuales estén localizados en el mismo lugar que los aforos presentes en la zona de estudio.

La ubicación de dichos aforos y la información sobre cada uno de ellos han sido facilitadas por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.



Figura 6-1. Aforos Sevilla Este

La información perteneciente a cada aforo, contempla mediciones durante varios días en distintos meses del año. Para el tratamiento de los mismos y evitar posibles distorsiones con respecto a un día laborable cualquiera, se deciden eliminar aquellos días pertenecientes a festivos y vísperas, así como meses donde se pudieran dar reducciones de viajes: Diciembre y Enero, meses de verano. Además, los datos correspondientes a lunes y viernes tampoco se han tenido en cuenta, por posibles efectos de fin de semana.

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, se muestra, a continuación, los valores medios de vehículos registrados por dichos aforos en hora punta, con los cuales se compararán los sensores virtuales del modelo en el software empleado en cada simulación que se realice.

Tabla 6–1. Datos Aforos reales

Sensor	Medición real
53	429.7
54	253.4
55	160.0
67	787.7
68	1,270.0
635	3,223.8
636	3,343.7
637	2,889.2
638	3,377.7
639	2,947.8
640	3,896.7
641	4,803.2
642	4,103.4
643	4,623.9
644	3,588.4
645	3,980.6

6.1 Sensores modelados

El programa, a la hora de la ubicación de un sensor en una vía, crea una estación de sensores, la cual permite ubicar un único sensor que ocupe el ancho de la vía, o dividir dicho sensor en tantos como carriles posea en el punto indicado. En este caso, se cree interesante la ubicación de sensores por carril, para un mejor control del tráfico a través del sistema.

Las propiedades de los sensores colocado en el modelo en la misma ubicación que los reales, aparte de contemplar el valor total de vehículos por carril y por estación, permite seleccionar otras características como pueden ser:

- Recogida instantánea de la identidad del vehículo, tipología, velocidad, origen y destino. (“*Vehicle-to-Roadside Communication Data*”)
- Recogida periódica de la identidad, tipología y velocidad de aquellos vehículos que se encuentren dentro del área de sensores. (“*Area Data*”)
- Datos de colas tipo “*Spillback*”

A continuación, se muestra la configuración escogida para cada uno de los sensores.

Edit Sensor Properties

General

Station ID: 21

Position (m): 3.42

Detection Zone (m): 2.00

Data Collection

☒ Point Data

☒ Vehicle-to-Roadside Communication Data

☐ Area Data

☐ Spillback Queue Data

Type

☒ Lane-based ☐ Link-wide

Data Collection Options

☐ Measure Non-motorized Vehicles

Lanes in Segment 85265

Lane	Yes
1 (left)	Yes
2	Yes
3 (right)	Yes

Traffic Signal Operations

Vehicle Detection: None

Preemption/Priority: None

☐ Allow Actuation by Non-motorized Vehicles

OK Cancel

Figura 6-2. Propiedades aforos modelados

Finalmente, se obtiene un total de 47 sensores, recogidos en 15 estaciones.

7 SIMULACIÓN

La simulación comprende el proceso más importante del modelo que se pretende realizar. Mediante esta se obtendrán los resultados necesarios para una comparación con la situación actual. En el caso de existir grandes discordancias, se opta por realizar modificaciones que mejoren el sistema.

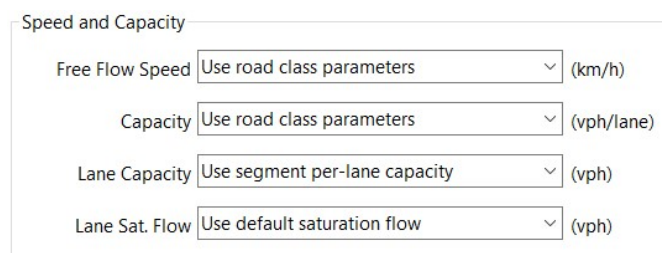
Este capítulo recoge todas las acciones realizadas para obtener el modelo final, justificando los cambios realizados, tanto las modificaciones realizadas sobre la red, como aquellos realizados sobre la Matriz O-D.

7.1 Ajustes del proyecto

La configuración de los ajustes del proyecto es un factor importante para la obtención de resultados. En este menú se configura el tramo horario en el que se desea realizar la simulación, el estado inicial, la red utilizada, el método de elección de ruta, las unidades de preferencia, etc.

En cuanto al **estado inicial**, se decide comenzar en un medio vacío, al cual, todos los vehículos que entren al sistema sean procedentes de la matriz para un mejor análisis de modelo.

Dentro de las **características de la red**, encontramos la necesidad de definición de campos de velocidad y capacidad. Estos datos deben de obtenerse de los parámetros que se establecieron al crear las clases de vía, por ello, su configuración debe ser la siguiente:



Speed and Capacity		
Free Flow Speed	Use road class parameters	(km/h)
Capacity	Use road class parameters	(vph/lane)
Lane Capacity	Use segment per-lane capacity	(vph)
Lane Sat. Flow	Use default saturation flow	(vph)

Figura 7-1. Ajustes del proyecto: *Speed and Capacity*

Los **archivos de entrada al proyecto** deben ser como mínimo la matriz creada en el *Capítulo 5* y el archivo que contiene a los cruces.

En la ventana **Output** se eligen todos aquellos datos que se desean como resultado, así como su tiempo de actualización. Se deben de escoger aquellos datos que resulten interesantes de estudiar. En este caso, se decide tener accesos a los siguientes archivos de salida:

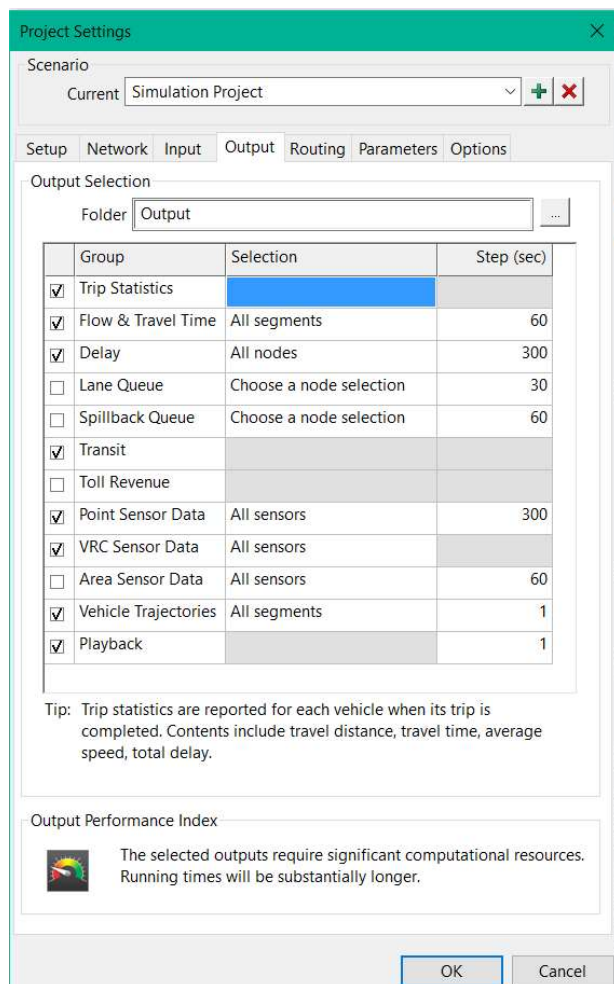


Figura 7-2. Ajustes del proyecto: *Output*

Unas de las configuraciones que más afectan al modelo es la que hace referencia a la ruta escogida. Los métodos de elección que oferta el programa son los siguientes:

- **Deterministic Shortest Path:** es el método más sencillo. Todos los usuarios coinciden en la definición de los caminos más cortos. Para un mismo par O-D, tan solo existirá una ruta, y todos los usuarios optarán por el uso de esta.
- **Stochastic Shortest Path:** es parecido al caso anterior. El usuario quiere realizar la ruta más corta, pero esta ruta es subjetiva. Es decir, pueden existir usuarios cuya percepción sobre el camino más corto es diferente, por lo que existirán distintas rutas para un mismo par O-D.

- Probabilistic Route Choice: utiliza un modelo logit multinomial (MNL). Aquí se establecen todos los caminos que se podrían realizar para ir de un centroide a otro, y se instauran probabilidades de uso de dichas rutas en función del camino óptimo. Los usuarios, cuando comienzan su viaje, tienen establecida una ruta la cual puede o no ser la más rápida. Como resultado se obtiene una mayor distribución de coches en la red, pero los viajes no son representativos de la realidad, por ello se decide descartar su uso.

Tras lo comentado, se decide utilizar el método estocástico. Para un mejor resultado, se debería de activar la opción de “*Reroute in Response to High Delay*”, donde permite al conductor establecer otros caminos si el tiempo de retraso es mayor que el esperado.

7.2 Simulación 0

En esta simulación se han utilizado el modelo que se ha explicado anteriormente:

- Centroides: 28
- Líneas conectoras de centroides: 374
- Vías: 1585
- Carriles: 2939
- Intersecciones: 1107
- Líneas conectoras: 3943
- Señales ceda al paso: 312
- Señales Stop: 127
- Semáforos: 251

Tras la simulación, se recogen los datos pertenecientes a los aforos colocados anteriormente:

Tabla 7–1. Comparación de aforos

Sensor	Medición real	Medición modelada	% Modelado/Real
53	429.7	28	6.5
54	253.4	90	35.5
55	160.0	302	188.7
67	787.7	246.10	31.2
68	1,270.0	489.9	38.6
635	3,223.8	179.2	5.6
636	3,343.7	1146.9	34.3
637	2,889.2	1554.2	53.8
638	3,377.7	530.7	15.7
639	2,947.8	394.9	13.4
640	3,896.7	839	21.5
641	4,803.2	613.3	12.8
642	4,103.4	755.9	18.4
643	4,623.9	807.5	17.5
644	3,588.4	1150.9	32.1
645	3,980.6	1162.5	29.2

Como se comprueba, esta situación no se parece apenas a la realidad, por tanto, hay que identificar posibles defectos del modelo con el fin de subsanarlos.

El principal problema de esta primera simulación se puede observar en la siguiente *Figura 7.3.- Efecto conector*.

Como se puede apreciar, los vehículos (color amarillo) se concentran en vías específicas. A pesar de existir numerosas líneas que conectan el centroide con la red, (*Centroid Connector*), se observa como la mayoría de ellos salen por dos de estas líneas para el centroide mostrado, existiendo otras alternativas que podrían disipar esta concentración. La elección de los vehículos, a salir por uno de estos dos conectores, es causa de que la ruta mínima para llegar a su destino comienza desde el punto de conexión entre la red de transporte y la línea conectora. Este “atasco” se conoce como **efecto conector**.

El **efecto conector** sucede cuando el centroide que recoge todos los orígenes y destinos de una amplia zona se conecta con la red modelada por tan solo un punto. Esto provoca grandes concentraciones en vías próximas a este punto de unión.

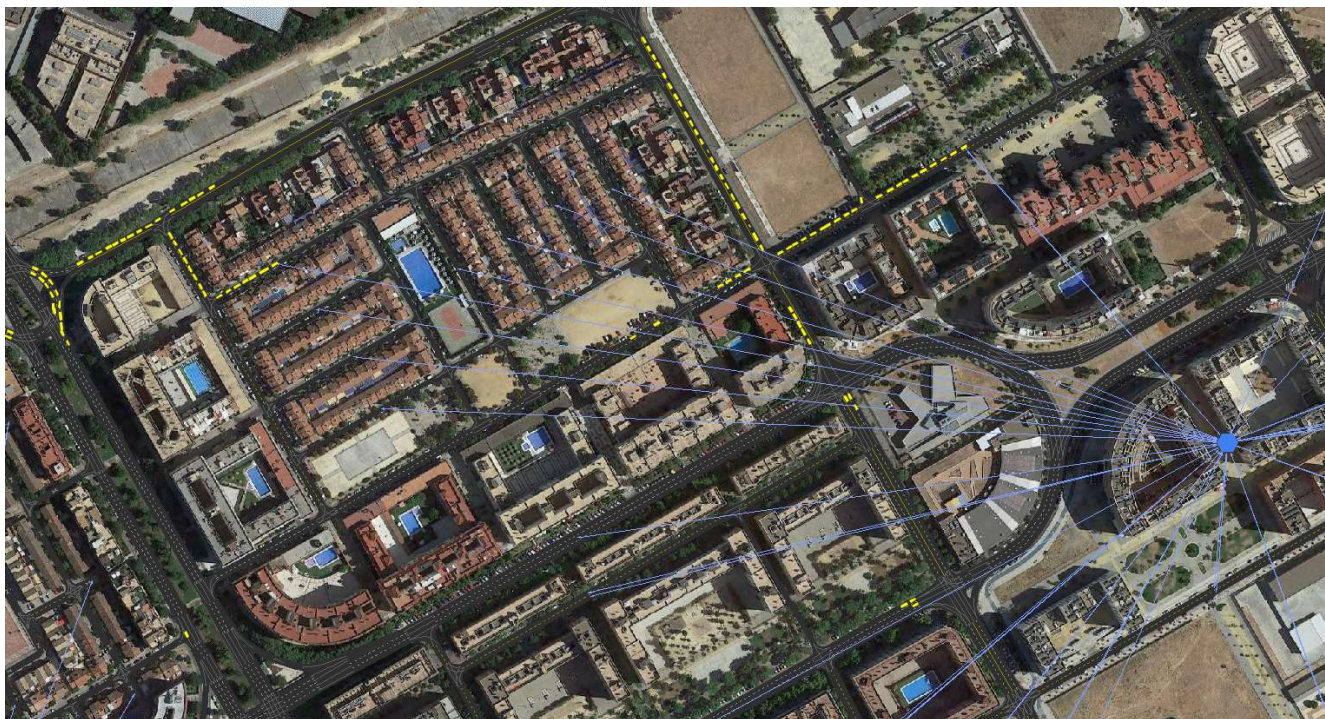


Figura 7-3. Efecto conector.

La razón por la que se da este efecto en el modelo, es que las zonas de análisis de transporte (TAZ) corresponden a una macrosimulación, por tanto, son unidades geográficas demasiado amplias para poder realizar una microsimulación. Dado que el modelo se ha realizado con macrozonas, la solución que se plantea es la subdivisión de dichas zonas en otras más pequeñas.

7.2.1 Subdivision TAZ

La subdivisión de estas unidades geográficas se plantea teniendo en cuenta las diferentes dotaciones que se encuentran dentro de la zona de estudio (*Anexo A: Plano 1.- Dotaciones*). Para ello, se ha establecido que las zonas residenciales generan más viajes en hora punta de la mañana, y que otro tipo de dotaciones como colegios e institutos, industrias, oficinas, etc., atraen más viajes que las zonas residenciales.

En las zonas residenciales, se tiene en cuenta los repartos poblacionales. Para ello se utiliza la Distribución Espacial de la Población en Andalucía (DERA, Junta de Andalucía).

En cuanto a zonas en las cuales existían varias dotaciones, como, por ejemplo, colegios e institutos, se razona que el colegio atrae más viajes en vehículo privado que un instituto, ya que las edades en cada uno de estos establecimientos influyen a la hora del acompañamiento por parte de un mayor de edad.

Tras estas consideraciones, se dividen las 12 macrozonas que conformaban el Distrito Este en 109, por tanto, el sistema pasa a tener de 28 centroides (16 externos), a 125 centroides (16 externos). Así mismo, varía el número de líneas conectoras a centroides: de 374 pasa a 547.



Figura 7-4. Subdivisión de TAZs

7.3 Simulación 1

Realizando una nueva simulación, esta vez con la matriz ampliada, es decir, teniendo en cuenta los 125 centroides, se obtiene la siguiente situación, completamente diferente a la que se dio en la **simulación_0**, la subdivisión en pequeñas zonas ha logrado eliminar el efecto conector.

Para una mayor veracidad en la comparación, ambas figuras (7.3 y 7.5) han sido tomadas tras el transcurso del mismo período de tiempo tras el inicio de la simulación.

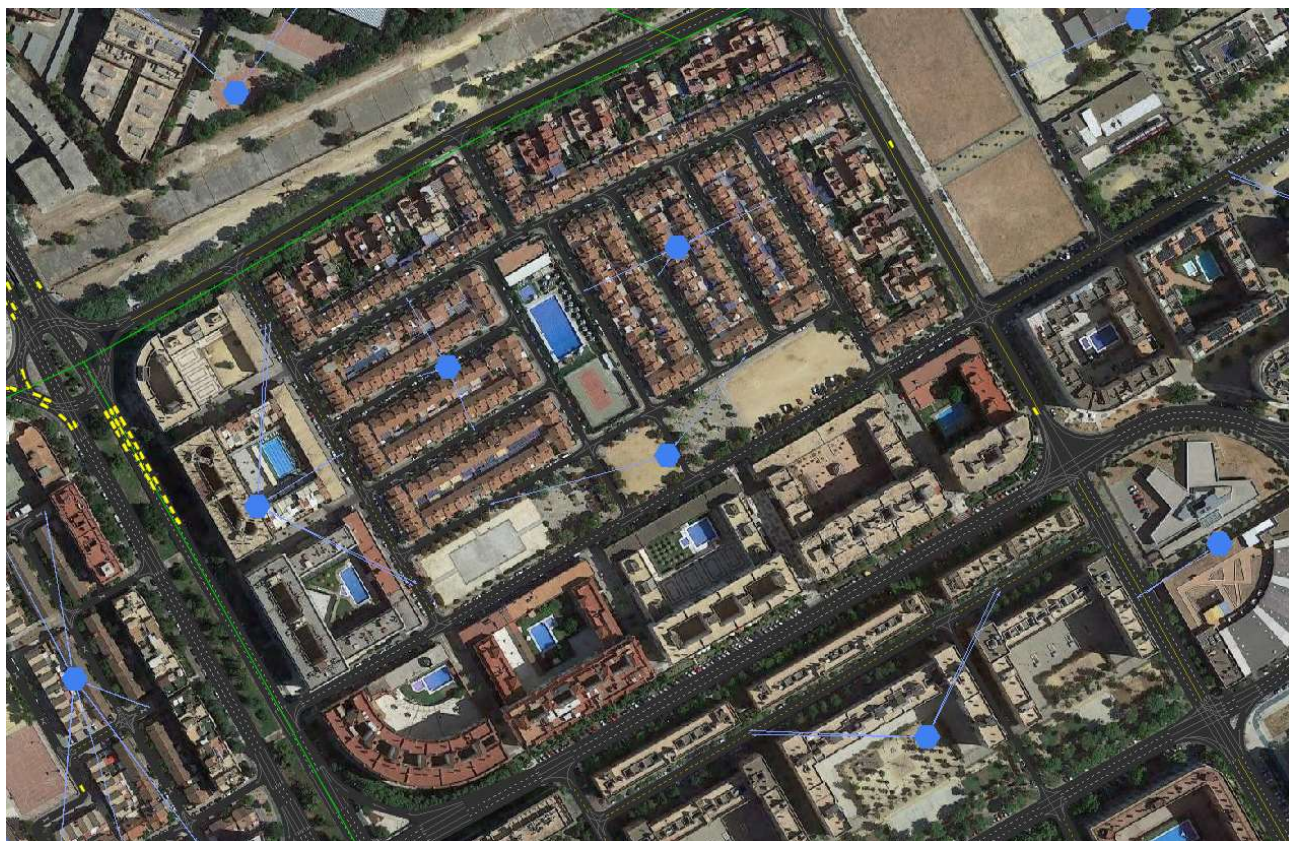


Figura 7-5. Eliminación efecto conector

Durante esta simulación, también se han identificado otro tipo de defectos en la red. Uno de ellos es producido por acción semafórica, mientras que otro se produce exceso de generación de viajes en el centroeide **314** y **316**. Estos defectos son tratados a continuación, realizando una comparación de la situación primigenia con la actual, tras las modificaciones que se han creído oportunas.

7.3.1 Modificación semafórica por defecto en la simulación

El defecto que se encuentra en el modelo se da en la salida de la SE-30 hacia Avenida alcalde Luis Uruña. Esta salida se basa en una pequeña vía de un carril, que más tarde aumenta hasta los dos carriles para posteriormente bifurcarse. Cada una de las vías que aparecen tras la bifurcación, poseen un control semafórico, el cual, debido a la poca capacidad de dicha salida provocan una pequeña cola.

Durante la simulación se percibe una pequeña cola, que en cada ciclo semafórico va aumentando, hasta afectar a la SE-30 y otras salidas en tan solo 10 minutos.



Figura 7-6. Defecto semafórico

Por ello, se decide actuar sobre el ciclo semafórico, aumentando la fase de verde para ambas vías en 7 segundos. La razón de establecer 7 segundos, se extrae tras un análisis basado en la visualización y contabilización del tiempo de evacuación de la vía, intentando que todo usuario que haga uso de dicha salida no espere más de un ciclo y medio semafórico.

Tras dicha modificación se vuelve a simular, con el fin de comprobar la eficacia de la modificación realizada.



Figura 7-7. Solución defecto semafórico

7.3.2 Exceso de generación de viajes. Centroides 314

En tan solo 7 minutos se identifica una saturación en la vía delimitadora que conecta directamente con el centroide 314. En la realidad, el uso de esta vía es reducido, puesto que conecta con pequeñas zonas las cuales tienen mejores alternativas para realizar sus viajes.

Conocido esto, se extrae información sobre la matriz referente a este centroide. La suma de viajes generados da un total de 644.68 vehículos, un valor bastante elevado si se compara con los usuarios que entran al sistema por el centroide 302 (Autovía A4), cuyo valor es de 483.86.

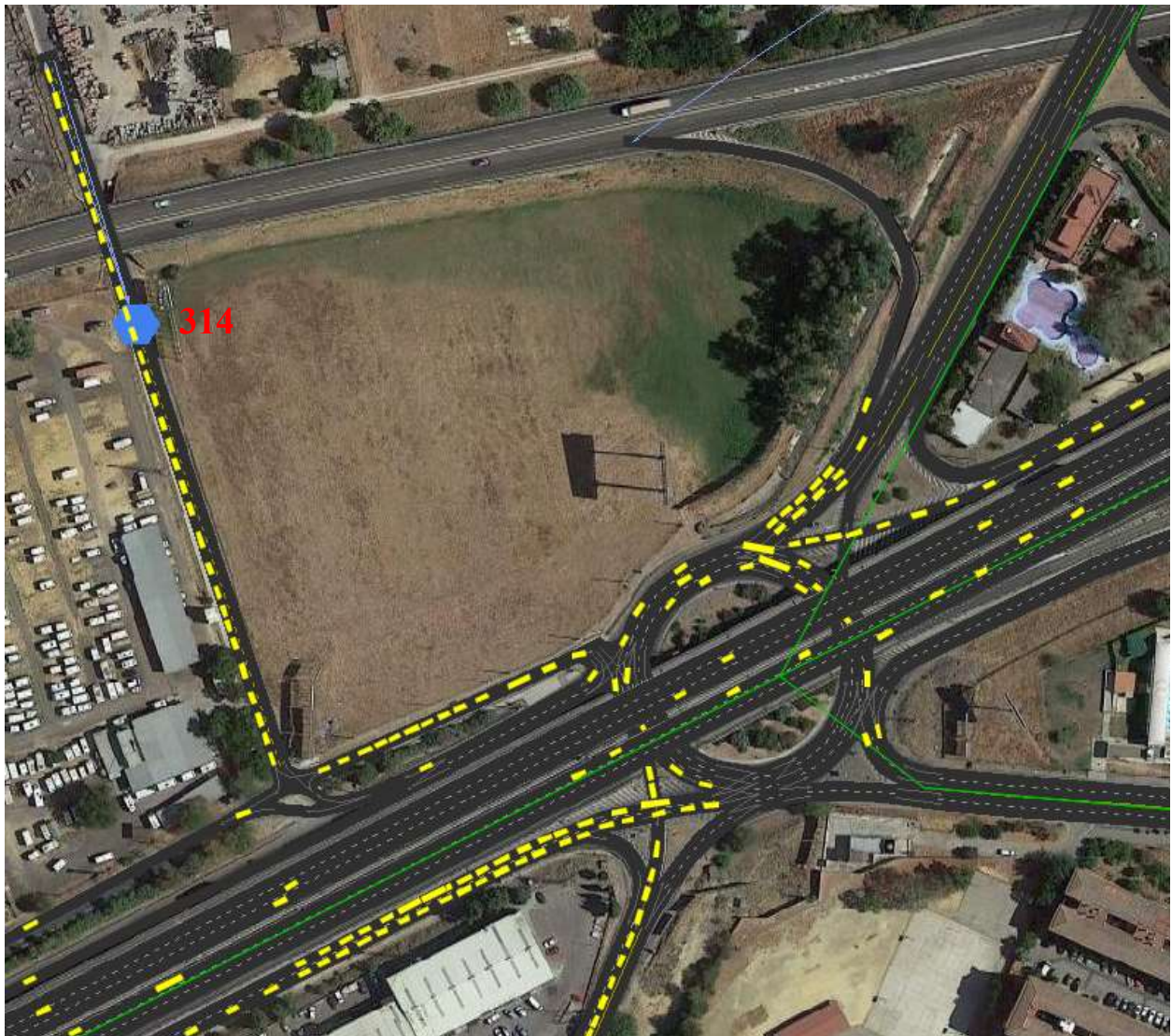


Figura 7-8. Exceso de generación de viajes centroide 314

Tras un análisis, se establece que el sobredimensionamiento de vehículos generados puede haber sido producido por defectos en la Matriz O-D en hora punta de la cual se ha extraído la Matriz de la zona de estudio. A la hora de realizar la asignación, dado que el volumen de coches generado es muy grande, las vías de uso más habitual se colapsan, y, por tanto, el programa desvía tráfico hacia otras vías secundarias, como en este caso.

La solución que se plantea para este caso es el transvase de parte de esos vehículos al centroide **307**, que es el correspondiente a la vía de Brenes y con la cual existe una conexión con la vía sobredimensionada.

7.3.3 Exceso de generación de viajes. Centroide 316



Figura 7-9. Exceso de generación de viajes centroide 316

Como en el caso anterior, existe una saturación de un viario de entrada al sistema. En este caso se trata de aquella que tiene conexión directa con el centroide 316, y el cual se corresponde con calle Amor.

En este caso también se acude a la matriz, para comprobar la suma total de vehículos que entran al sistema por esta vía, siendo en este caso mayor: 1198.77 vehículos.

Los flujos más importantes son hacia Málaga (A-92), 237.46, y SE-30 en el sentido hacia el Polígono Calonge, 225.98. Teniendo en cuenta que Santa Aurelia tiene otros enlaces tanto con Avenida de Andalucía como con la SE-30, se decide dividir gran parte de este flujo entre estos dos centroides, 301 y 303, respectivamente.

7.4 Calibración de la red

La red posee diferentes clases de vía como se explicó en el apartado 3.3.3. *Clases de vía*. La elección de cada clase para los diferentes segmentos por los que está compuesta la red del modelo se estableció teniendo en cuenta su límite de velocidad real y dependiendo, como ya se explicó, si se trataba de una rotonda, autovía, etc.

Una vez se ejecuta la **simulación_0** y **simulación_1**, se observó cómo vías, que en la realidad apenas se usan, se colapsaban, y otras que los usuarios evitaban. Esto hizo necesario una calibración de la red, y una comprobación de las rutas mínimas entre los diferentes centroides, comparando con GPS reales.

7.4.1 Reducción de velocidad: Calle Tigris



Figura 7-10. Calle Tigris

Esta vía conecta la A-4 con la zona céntrica de Sevilla Este, donde se encuentran edificios como el Palacio de Congresos, Centro Comercial Zona Este, etc. En el día a día, dicha vía se utiliza en menor medida que las otras posibilidades existentes para alcanzar la zona céntrica. Esto se debe a que el acceso a ella (vía verde) se realiza a través de una gasolinera, por tanto, el giro brusco que realizan los conductores para hacer uso de la vía, conlleva una gran reducción de velocidad, atravesar la gasolinera y culminar con un paso de peatón elevado.

Por todo lo anterior, se decide reducir la velocidad en el tramo de vía modelado que corresponde al paso a través de la gasolinera a **10 km/h**. Gracias a esto, se consigue que el usuario opte por alguna de las otras alternativas, ya que el tiempo en recorrer calle Tigris ha aumentado con respecto a las demás.

7.4.2 Incremento de velocidad: Calle Dr. Miguel Ríos Sarmiento

Esta calle desemboca en la rotonda que conecta con Av. Alcalde Luis Uruñuela a la altura del Palacio de Congresos. El problema existente es que, en el modelo, los usuarios que entran a la red por conectores a centroides cercanos a dicha calle, prefieren ir por otras alternativas, debido a que esta calle está limitada a 30 km/h, frente a los 50 km/h de la Avenida principal.



Figura 7-11. Calle Dr. Miguel Ríos Sarmiento (verde) y Av. Ciencias (rojo)

Esta Avenida presenta una sección más amplia, mientras que la calle en estudio es de un único carril por sentido, con numerosos resaltos, y al cual le afecta la existencia del Instituto Quinto Centenario, puesto que se da la entrada al mismo en hora punta, provocando una acumulación de coches en doble fila, que dificulta el paso. Esto hace que los usuarios reales prefieran el uso de la Avenida principal de Sevilla Este, pero aquellos usuarios cuyas viviendas se encuentran próximas a esta pequeña vía hacen uso de ella.

Es por ello, por lo que se aumenta la velocidad de la vía a 50 km/h, salvo en el tramo afectado por el centro educativo mencionado, donde la velocidad máxima será de 30 km/h. Gracias a esto, las rutas de los usuarios que inician la ruta cerca de esa vía harán uso de ella.

7.4.3 Incremento de velocidad: Avenida de Séneca

Esta Avenida une la Avenida de Emilio Lemos con la rotonda que permite destinarse hacia el aeropuerto (A4) o Brenes, pasando entre Alcosa y el Parque del Tamarguillo.

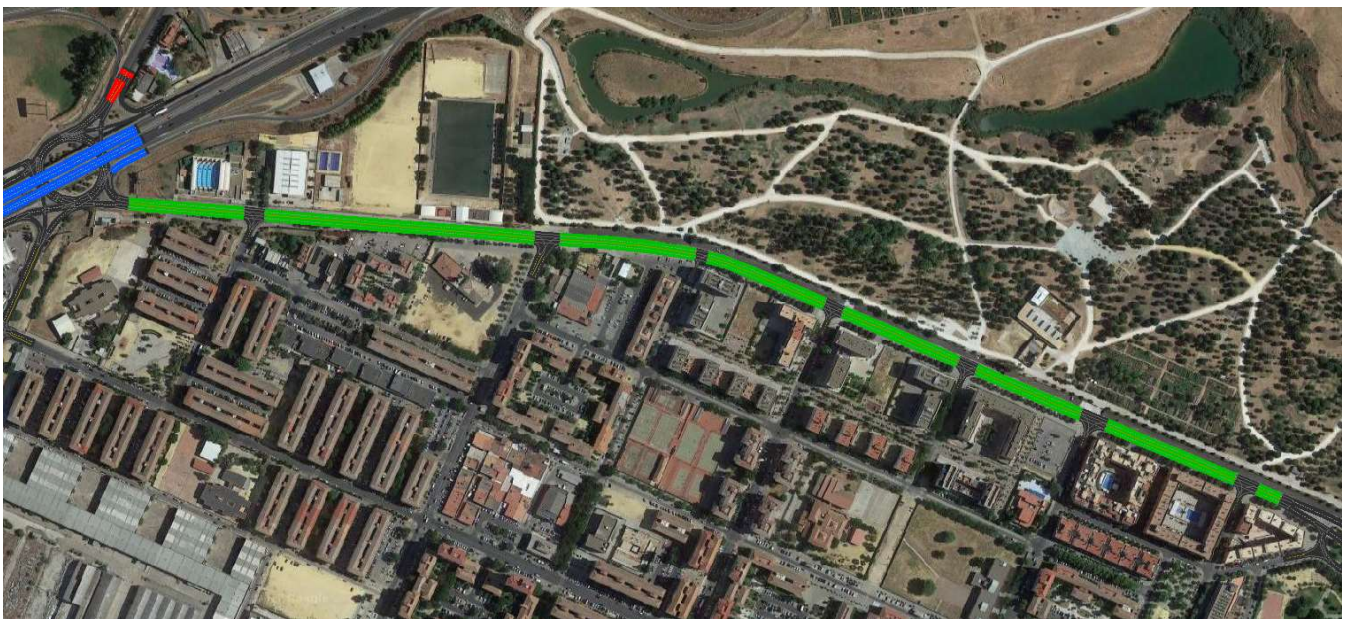


Figura 7-12. Av. Séneca (verde), A4 (azul), Carretera hacia Brenes (rojo)

Esta vía está limitada a 50 km/h, pero la realidad es que los usuarios no suelen cumplir dicho límite. El problema principal que se encuentra en el modelo es que los usuarios intentan evitar su uso, puesto que en distancia y tiempo no compensa.

Comparando con sistemas de GPS, existen destinos en los cuales se recomienda esta opción frente a un acceso a la rotonda de conexión con Brenes y la A4 por medio de la Avenida principal (Av. de las Ciencias). Es por ello por lo que se decide aumentar su velocidad hasta 60 km/h, y así destinar parte del tráfico por esta vía.

7.4.4 Comprobación de ruta mínima

En este apartado se muestra la comparación de la ruta mínima entre dos centroides propuesto por el modelo y el propuesto por un GPS mundialmente utilizado, (Google Maps).

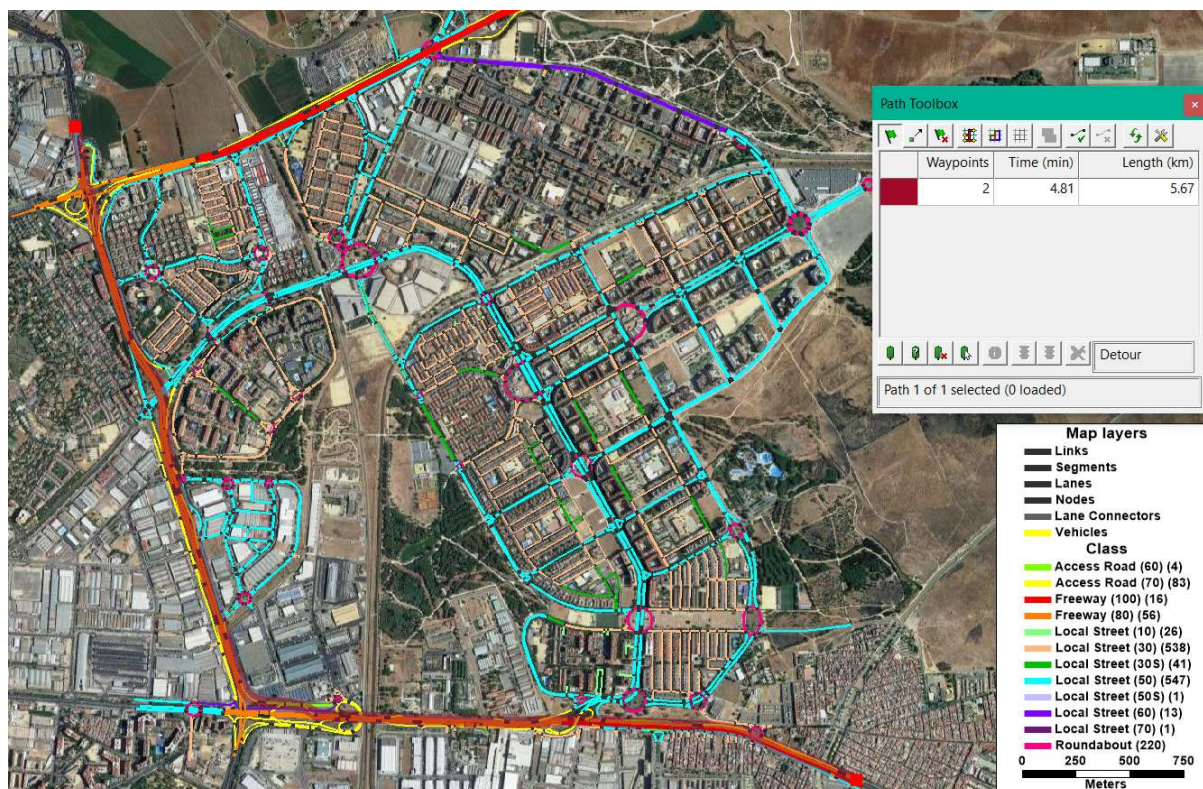


Figura 7-13. Ruta mínima del centroide 304 al 308 (modelo)

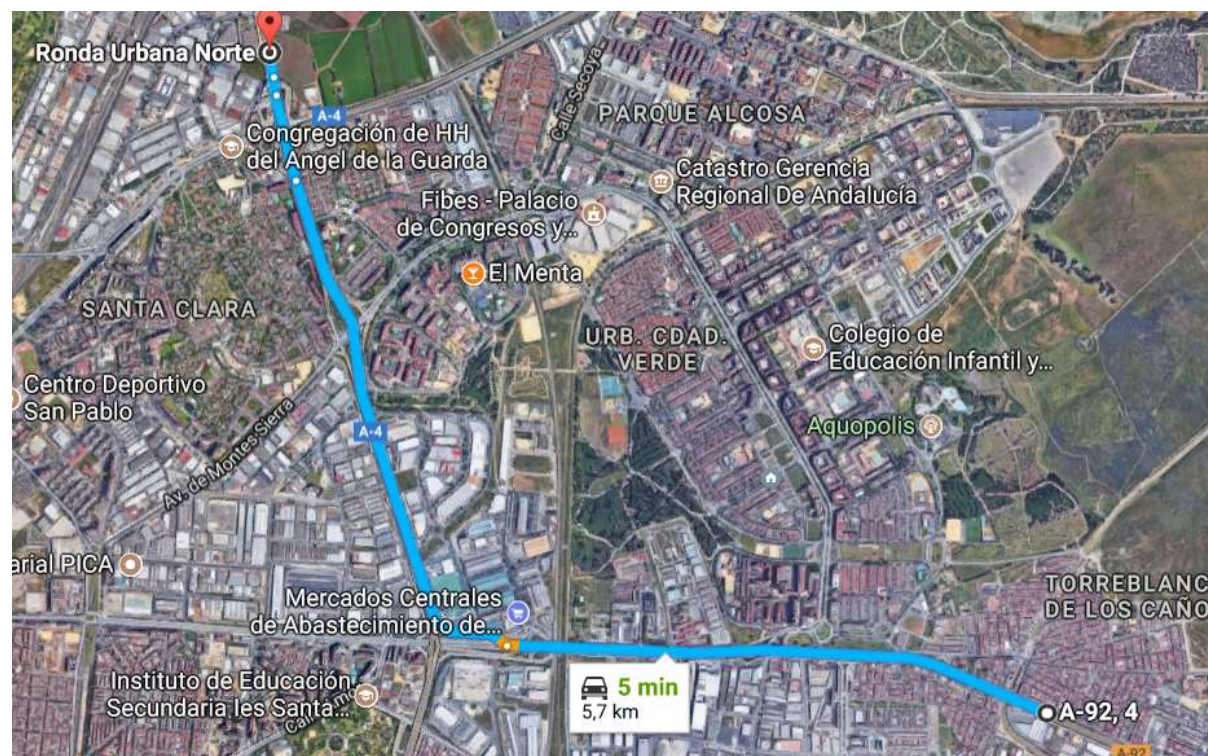


Figura 7-14. Ruta mínima del centroide 304 al 308, GPS Google Maps

Como se observa en la foto, aproximando, ambos modelos miden una distancia total de 5.7 km, que es recorrida en 5 minutos. Esta comprobación se realiza para cada uno de los viajes posibles entre centroides externos. Como resultado se obtiene una red que representa fielmente la realidad.

En cuanto a comparaciones de rutas que se hagan a través de Sevilla Este, la distancia coincide, sin embargo, los resultados de tiempo en el modelo son menores que los dispuestos por Google Maps. Esto se debe a que TransModeler no tiene en cuenta la interacción de los semáforos en el cálculo de tiempo de la ruta.

7.5 Simulación 2

Una vez se han realizado todas las modificaciones expresadas anteriormente, se realiza una tercera simulación, de la cual se extrae información sobre las estaciones de sensores, los cuales se comparan con los valores de aforos reales:

Tabla 7–2. Comparación de aforos

Sensor	Medición real	Medición modelada	% Modelado/Real
53	429.7	297	69.1
54	253.4	261	103.0
55	160.0	168	105.0
67	787.7	145.00	18.4
68	1,270.0	1049	82.6
635	3,223.8	2636	81.8
636	3,343.7	1685	50.4
637	2,889.2	1344	46.5
638	3,377.7	950	28.1
639	2,947.8	3082	104.6
640	3,896.7	3139	80.6
641	4,803.2	3238	67.4
642	4,103.4	2743	66.8
643	4,623.9	2617	56.6
644	3,588.4	3182	88.7
645	3,980.6	3122	78.4

Los valores señalados en la tabla tienen una posible explicación:

- Sensor 67, localizado a la salida de Sevilla Este que da acceso al enlace con la A-92. Su valor posiblemente sea tan bajo puesto que la matriz O-D pertenece al año 2007. Durante estos 10 años se han construido varios bloques de piso, los cuales no se encuentran registrados en esta matriz.
- Sensor 638, localizado en la A-4 sentido Córdoba. Se comprueba la existencia de un gran atasco producido por la rotonda que conecta la A4 con Brenes, Alcosa y Sevilla Este, (Figura 7-12.). Su valor es tan reducido dado que el atasco se extiende hasta el centroide 301 (4.3 km) afectando a otro sensor como es el 641.

Además, se localiza otro gran atasco en el enlace entre la A- 92 con SE-30 en la zona de MercaSevilla, que excede al que normalmente se produce en dicha zona, afectando a la rotonda que conecta Avenida de Andalucía con Calle Amor, (Figura 7.9).

7.5.1 Atasco rotonda Brenes

El principal atasco de esta glorieta se produce por un exceso de entrada de vehículos por la izquierda de la misma. Esta vía de entrada, recoge a los usuarios que hacen uso de la A-4 y desean ir a algunos de los destinos que esta rotonda oferta.

Mediante el uso de *Path Toolbox* que se puede encontrar en Transmodeler, se identifican los principales flujos que afectan a la saturación de la vía en cuestión:

- 671 vehículos del centroide 301 al 307 (SE-30 a Brenes)
- 139 vehículos del centroide 303 al 307 (Av. de Andalucía a Brenes)
- 144 vehículos del centroide 306 al 307 (Kansas City a Brenes)
- 192 vehículos del centroide 308 al 307 (Ronda Urbana Norte a Brenes)

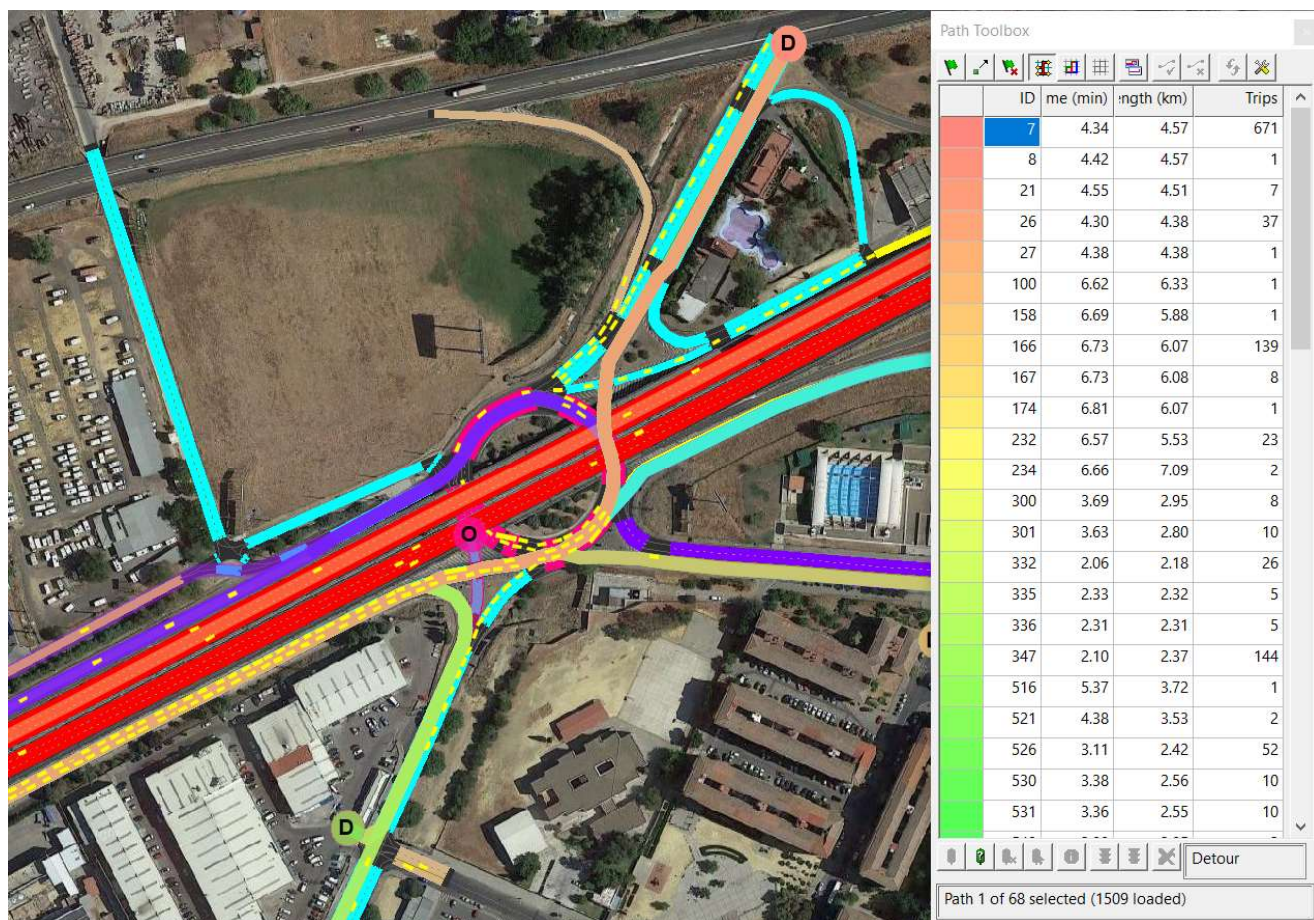


Figura 7-15. Atasco: Principales viajes, Rotonda Brenes

Como se puede observar, Brenes atrae más de 1 000 viajes. Teniendo en cuenta que Avenida de Andalucía atrae poco más de 700 viajes, cuya capacidad es mucho mayor que la vía de Brenes y es una continuación de la A 92, y que la A4 atrae 2000 vehículos, se considera excesivo el número de viajes atraídos por esta salida hacia Brenes.

La solución que se plantea es una reducción de los principales flujos mostrados anteriormente a la mitad.

7.5.2 Atasco rotonda Av. Andalucía-Calle Amor

En los primeros 10 minutos, la situación es estable, pero llega un momento en el que los vehículos provenientes de la A-92 que desean incorporarse a la SE-30, colapsan el enlace debido a que existe también un gran número de vehículos que desea incorporarse de Avenida Andalucía a la SE-30. Esto provoca que muchos de los vehículos que iban a realizar esa ruta, opten por acercarse a la rotonda, realizar un giro completo y se incorporarse a dicho enlace (camino rojo discontinuo).

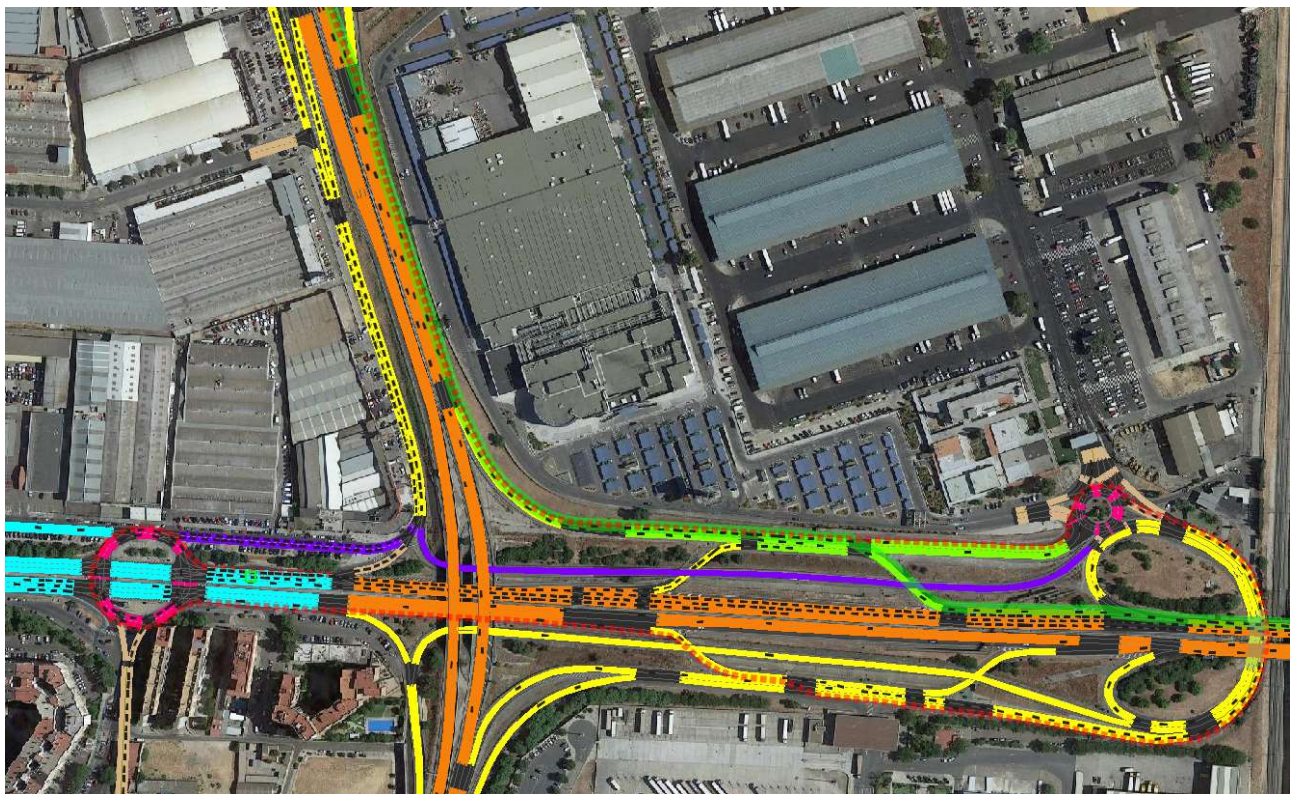


Figura 7-16. Atasco: Rotonda Av. Andalucía SE 30

Esta saturación en el enlace, induce un aumento de flujo hasta la rotonda, como se ha comentado, impidiendo evacuar la vía (color morado) que provienen de la SE-30. Como resultado, se obtiene un gran atasco tanto en la A-92 como en la SE-30.

Tras un análisis de la red macroscópica, se identifica que los flujos que van de Av. Andalucía a Kansas City (303 a 306) y viceversa, tienen otras alternativas, que resultan ser las más óptimas. Por ello, se decide reducir el valor de estos viajes en un 80 %. Es decir, de 453 viajes, se eliminan 362.

Además, se aprecia como los vehículos al hacer uso de las vías de acceso o salida de la autovía, reducen su velocidad, puesto que estas están limitadas a 70 km/h frente a los 80 km/h de las autovías de las que parten. El problema es que este frenado se da en la autovía, en vez de realizarse en dichas vías externas. Esto se soluciona igualando la velocidad de las vías exteriores con la de la autovía en cuestión.

7.6 Simulación 3

Una vez se creen solucionados de nuevos los defectos identificados, se realiza una nueva simulación.

Teniendo en cuenta los minutos en los que se tomaron las imágenes anteriores, (Figura 7-15 y 7-16), se muestra a continuación el estado de las mismas tras las modificaciones explicadas.

En la figura 7-18, se puede observar como existe colapso en la rotonda que se encuentra en la entrada a MercaSevilla. En el día a día, esto suele ocurrir, formándose, así mismo, una larga cola en el carril más externo de la autovía A-92.

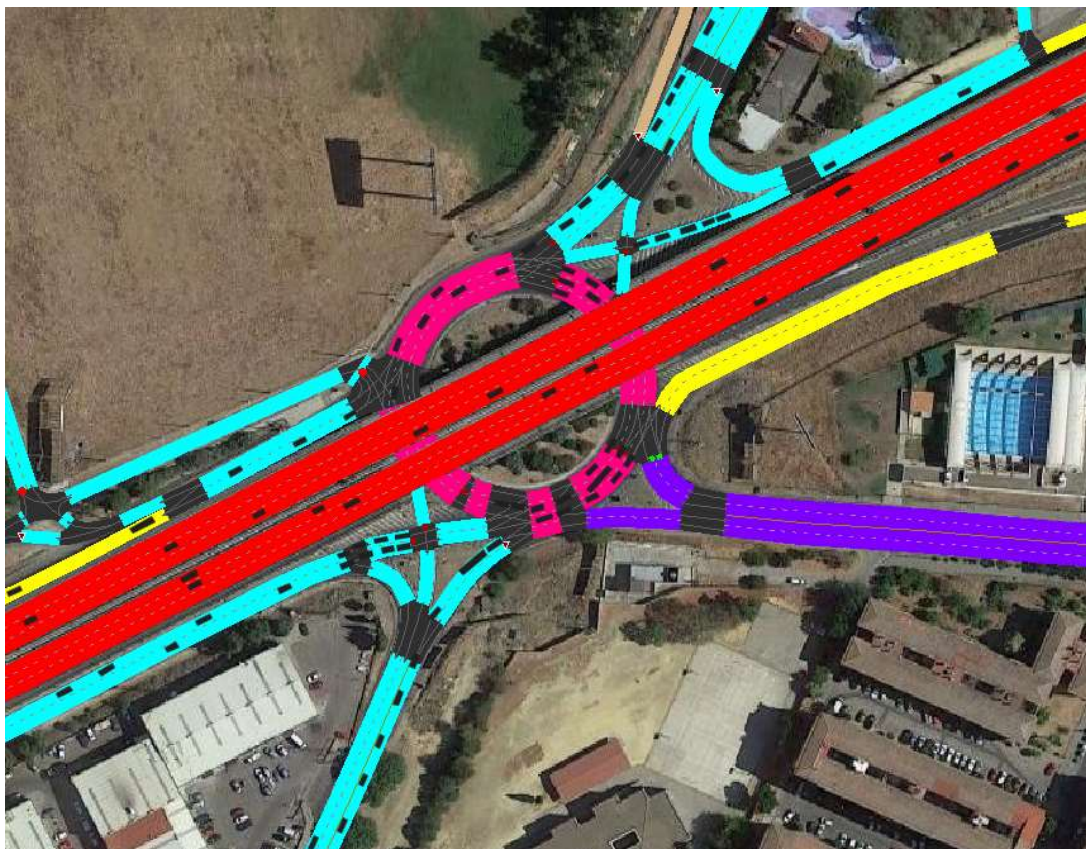


Figura 7-17. Solución: Rotonda Brenes



Figura 7-18. Solución: Rotonda Av. Andalucía SE 30

En cuanto a los resultados de los aforos, son los siguientes:

Sensor	Medición real	Medición modelada	% Modelado/Real
53	429.7	136	31.6
54	253.4	379	149.6
55	160	272	170.0
67	787.7	743	94.3
68	1,270.00	1335	105.1
635	3,223.80	3200	99.3
636	3,343.70	2604	77.9
637	2,889.20	1470	50.9
638	3,377.70	2319	68.7
639	2,947.80	2391	81.1
640	3,896.70	3668	94.1
641	4,803.20	4970	103.5
642	4,103.40	2866	69.8
643	4,623.90	2644	57.2
644	3,588.40	2407	67.1
645	3,980.60	3347	84.1

Los sensores 53, 54 y 55 pertenecen a la estación 12. Estos miden el número de vehículos por cada uno de los carriles de la sección. Es por ello, por lo que el valor de 31.6% se compensa con los excesos de los otros dos carriles, siendo el total de vehículos que pasan por ese punto en el modelo, el 93% de los vehículos reales.

El resto de sensores modelados que no representan fielmente la realidad, se deben a defectos en la matriz, que pueden ser producidos por la existencia de pares O-D cuya asignación de vehículos es menor que la que existe realmente, o, por otro lado, asignaciones en exceso que provocan retenciones en las vías, disminuyéndose el número de vehículos a través de los sensores debido a la consiguiente disminución de velocidad.

8 CONCLUSIONES

Este capítulo establece un pequeño resumen del modelo realizado, así como algunos comentarios sobre los resultados obtenidos y las dificultades que se han presentado en la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

8.1 Problemas presentados

Los principales problemas que se han presentado en la realización del modelo comienza con la falta de información sobre las características de los viarios existentes. Para la definición del modelo microscópico, es muy importante tener conocimiento sobre el número carriles por vía, así como el ancho de cada uno de ellos, además del sentido permitido en cada una de estas vías. A todo esto, se le suma la localización de las señales de ceda al paso y stops, así como la definición de todos aquellos movimientos posibles en cada una de las intersecciones existentes.

Dado que esta información no se poseía para cada una de las vías que conforman la red de Sevilla Este, ha sido necesario una visualización plena del barrio en cuestión. En los últimos años, se han modificado, varias veces, los sentidos de algunas de las vías de este barrio, lo cual ha dificultado la modelización correcta de la red.

Además, la información relacionada con las intersecciones semafóricas, no recogen a aquellas que pertenecen a las nuevas construcciones realizadas en Sevilla Este (formando un total de 17 intersecciones semafóricas). Para la posible modelización de dichas intersecciones, ha sido necesaria la observación personal de las fases, y sus correspondientes ciclos semafóricos, en hora punta de la mañana.

A todo esto, se le suma la inexactitud de la Matriz O-D en Hora Punta 2007, la cual es resultado de una encuesta domiciliaria de movilidad, hace 10 años.

8.2 Situación Actual: Sevilla Este

Como ya se ha comentado, Sevilla Este es un barrio donde el usuario medio antepone el transporte en vehículo privado al público. Esto se debe a las grandes deficiencias del transporte público, que afectan a otras zonas, además de a este barrio.

Estas deficiencias son causadas principalmente porque el sistema de transporte público no ha crecido al mismo nivel que lo han hecho los diferentes núcleos urbanos. Como resultado, se obtiene disminuciones del nivel de servicio en muchas vías cuando se da el período de hora punta. Este nivel de servicio, también se ve afectado por la mal resolución de muchos de los enlaces existentes.

8.3 Resumen del modelo

A modo de resumen se expone, a continuación, los elementos que forman el modelo que se ha realizado:

- Centroides: 125
- Líneas conectoras de centroides: 547
- Vías: 1585
- Carriles: 2939
- Intersecciones: 1107
- Líneas conectoras: 3943
- Señales ceda al paso: 312
- Señales Stop: 127
- Semáforos: 251
- Sensores: 47 (15 estaciones)
- Matriz O-D Hora Punta: 125x125

El modelo, en su gran mayoría, se ha definido a partir de la información que el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte ha facilitado.

8.4 Zona de estudio: Microsimulación

La microsimulación que se ha realizado ha obtenido resultado en algunos puntos del Distrito Este, muy parecidos a la realidad, sin embargo, debido a los defectos que presenta la Matriz de O-D se han dado puntos conflictivos, los cuales se han resuelto total o parcialmente de la manera más coherente posible.

Todas estas modificaciones han sido explicadas y razonadas en el *Capítulo 7.- Simulación*.

En cuanto al modelo en sí, antes de comenzar la simulación, este refleja fielmente la realidad. Los resultados en cuanto a ruta mínima, distancia y tiempo empleado coinciden con otros sistemas de GPS. Por tanto, en el momento que se dé una actualización de la Matriz O-D que recoja las zonas de nueva construcción en Sevilla Este, se podrá obtener un modelo digital de la situación actual en este barrio.

Tener dicho modelo digital, podría servir para plantear diferentes modificaciones en velocidades, geometría, trazado, cambios en fases semafóricas..., que mejoraran la situación en algunas de las salidas donde se dan pequeños colapsos en hora punta de la mañana.

Este modelo, solo recoge los movimientos en transporte privado, pero el programa admite otros tipos de transporte, como puede ser autobuses, trenes, carriles bici, así como flujos de persona. En el momento que se definan todas las otras alternativas de desplazamiento, se podría analizar, por ejemplo, cómo afecta el incluir o eliminar una parada perteneciente a una línea de autobús, así como el establecimiento de valores de emisiones para cada uno de los tipos de vehículos que el programa oferta con el fin de aproximar las emisiones que proceden de los vehículos a motor.

8.5 Conclusión personal

La primera toma de contacto con el programa y con la microsimulación fue un poco ardua, puesto que apenas guarda relación con los contenidos y los programas abordados durante estos 4 años de grado. Este desconocimiento previo junto a la falta de información descrita anteriormente, supusieron una primera dificultad para afrontar el trabajo.

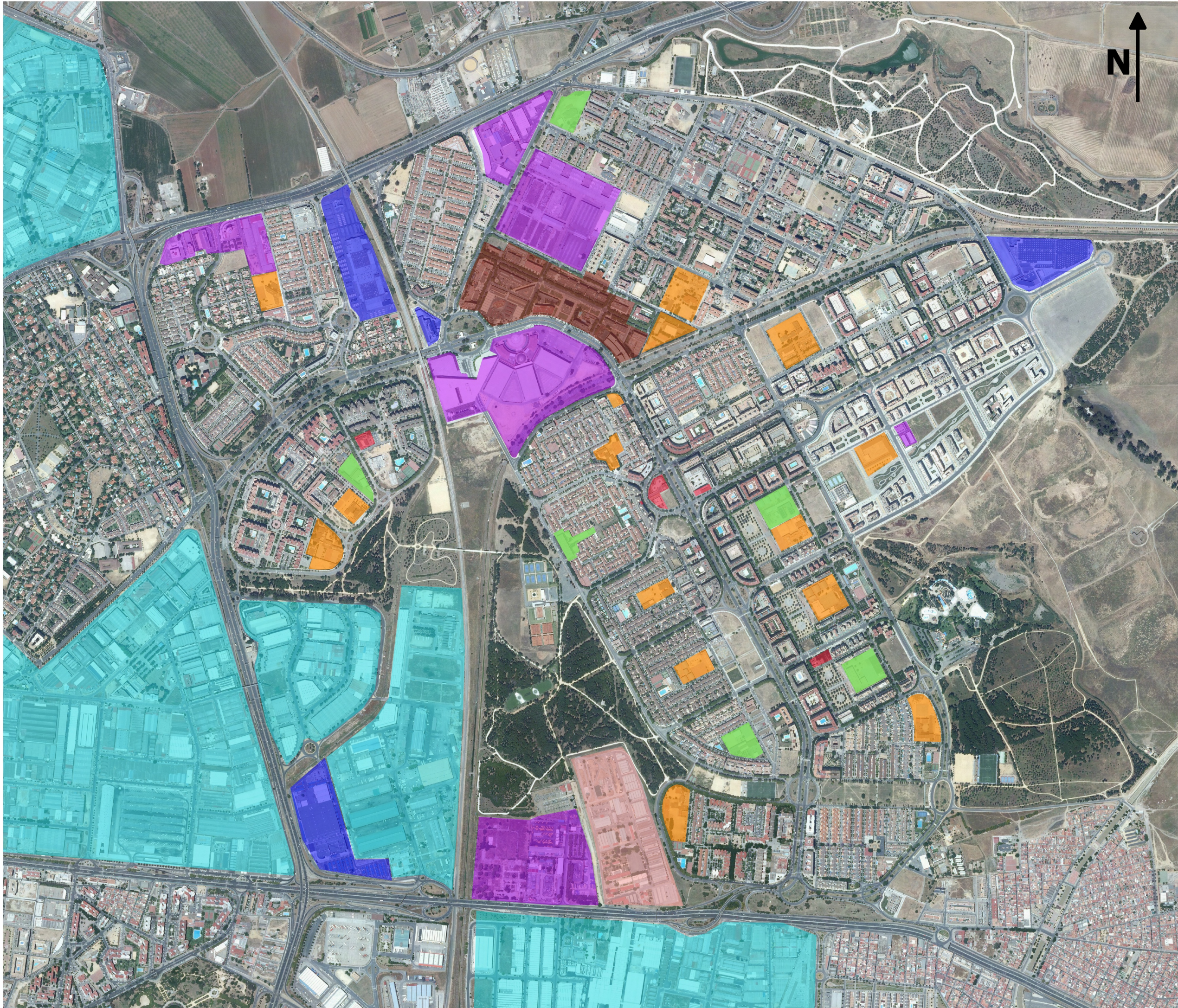
A pesar de este duro comienzo, la interfaz y el uso de este software resultaron muy agradecidos, a medida que se fue desarrollando el modelo. Esto se pone de manifiesto a la hora de realizar la simulación, ya que el programa permite la visualización de los vehículos a tiempo real, y así poder identificar las posibles situaciones que puedan originar problemas.

Finalmente, el análisis microscópico del tráfico me ha parecido muy interesante, ya que este permite prever los posibles cambios del tráfico al realizar modificaciones en la red.

BIBLIOGRAFÍA

- Texto Refundido PGOU 2006 Sevilla, «VI. El Sistema de Dotaciones Urbanas» *En línea:*
- [1] https://www.sevilla.org/urbanismo/paginas/nuevo_plan.asp
- [2] TransModeler 4.0, «TransModeler User's Guide», Caliper Corporation.
- Centro de Gestión de Movilidad, «Intensidades Medias Diarias de Vehículos 2016» *En línea:*
- [3] <http://trafico.sevilla.org/imd.html>
- EL PAÍS, «Sevilla-Este, un proyecto de ciudad para 120 000 habitantes», 23 Enero 1980. *En línea:*
- [4] http://elpais.com/diario/1980/01/23/espana/317430026_850215.html
- [5] Junta de Andalucía, «DERA: Distribución Espacial de la Población en Andalucía». Servicio WMS.
- CartoETSA, «Cartografía digital de la Provincia de Sevilla: *Sevilla (Capital)*» Universidad de Sevilla. *En*
- [6] *línea:*
- http://institucional.us.es/rrcartografia/index.php?option=com_content&view=section&id=5&Itemid=71
- L. M. Romero Pérez, «Apuntes de asignatura "Complementos de Transporte y Servicios Urbanos"»
- [7] Universidad de Sevilla
- ide.Sevilla, «Distritos de Sevilla», Gerencia de Urbanismo, Ayuntamiento de Sevilla. *En línea:*
- [8] http://sig.urbanismosevilla.org/TR_DistritosGU.aspx

ANEXO A: PLANOS



ANEXO A

Plano 1.- Dotaciones

LEYENDA

DOTACIONES

- COLEGIOS
- INSTITUTOS
- CENTROS MEDICOS
- OFICINAS
- CENTROS COMERCIALES
- POLIGONO_INDUSTRIAL
- MILITAR
- OTROS



ANEXO A

Plano 2.- Centroides

LEYENDA

- Centroide externo
- Centroide interno



ANEXO A

Plano 3.- Principales viajes extrazonales (destino Distrito Este)

LEYENDA

- Centroide externo
- Centroide interno
- ➔ Viajes extrazonales



ANEXO A

Plano 4.- Principales viajes extrazonales (origen Distrito Este)

LEYENDA

- Centroide externo
- Centroide interno
- ➔ Viajes extrazonales



ANEXO A

Plano 5.- Principales viajes de paso

LEYENDA

- Centroide externo
- Viajes de paso



ANEXO A

Plano 6.- Clases de vía

LEYENDA

Clases de vía (Km/h)

- Access Road (60)
- Access Road (70)
- Freeway (100)
- Freeway (80)
- Local Street (10)
- Local Street (30)
- Local Street (30S)
- Local Street (50)
- Local Street (50S)
- Local Street (60)
- Local Street (70)
- Roundabout

* S: School Zone

ANEXO B: INFORME DE SENSORES

Para una total comprensión de los datos referentes a los sensores, se muestra a continuación la equivalencia del sensor en el modelo.

Sensor real	Sensor modelado	
53	32	Station 12
54	31	
55	30	
67	Station 11	
68	Station 10	
635	Station 17	
636	Station 18	
637	Station 16	
638	Station 20	
639	Station 19	
640	Station 15	
641	Station 14	
642	Station 13	
643	Station 22	
644	Station 23	
645	Station 21	

Summary Point Sensor Data Report

8:00:00 - 9:00:00

Station 9						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
21	Lane 1	311	311.0	25.4	40.2	10.9
22	Lane 2	356	356.0	27.9	38.3	9.6
23	Lane 3	482	482.0	31.2	34.6	7.1
Summary		1,149	396.7	28.2	37.2	8.9
Station 10						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
24	Lane 1	353	353.0	14.8	50.0	9.6
25	Lane 2	440	440.0	13.9	48.8	7.4
26	Lane 3	542	542.0	31.4	41.8	5.8
Summary		1,335	458.4	20.0	46.3	7.3
Station 11						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
27	Lane 1	198	198.0	4.9	48.0	15.9
28	Lane 2	202	202.0	8.6	46.2	13.3
29	Lane 3	343	343.0	27.6	40.8	9.6
Summary		743	266.0	13.7	44.2	12.3
Station 12						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
31	Lane 2	379	379.0	29.7	31.2	8.6
32	Lane 3	272	272.0	25.7	29.2	12.2
30	Lane 1	136	136.0	13.1	36.3	22.2
Summary		787	300.0	22.8	31.4	12.2
Station 13						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
35	Lane 3	749	749.0	34.9	72.2	4.4
34	Lane 2	1,152	1,152.0	24.9	65.1	3.1
33	Lane 1	965	965.0	17.8	61.3	3.6
Summary		2,866	983.7	25.9	65.7	3.6
Station 14						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
38	Lane 3	1,399	1,399.0	12.9	71.5	2.5
39	Lane 4	772	772.0	7.0	73.3	4.5
36	Lane 1	1,317	1,317.0	11.6	74.8	2.7
37	Lane 2	1,482	1,482.0	13.5	71.8	2.4
Summary		4,970	1,304.6	11.2	72.8	2.8
Station 15						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
40	Lane 1	1,094	1,094.0	21.8	59.1	3.3
41	Lane 2	1,312	1,312.0	29.3	65.7	2.7

Summary Point Sensor Data Report**8:00:00 - 9:00:00**

43	Lane 4	394	394.0	14.4	62.4	8.7
42	Lane 3	868	868.0	31.6	73.0	3.7
Summary		3,668	1,043.3	24.3	65.1	3.7

Station 16

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
44	Lane 1	363	363.0	3.3	78.7	9.6
45	Lane 2	1,107	1,107.0	18.2	71.5	3.2
Summary		1,470	923.3	10.7	73.2	4.8

Station 17

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
47	Lane 2	1,227	1,227.0	15.1	55.6	2.9
46	Lane 1	1,347	1,347.0	17.4	54.0	2.6
48	Lane 3	626	626.0	8.1	52.7	5.4
Summary		3,200	1,159.9	13.5	54.4	3.3

Station 18

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
49	Lane 1	795	795.0	18.5	60.4	4.5
50	Lane 2	913	913.0	19.7	61.8	3.5
51	Lane 3	896	896.0	10.1	61.6	4.0
Summary		2,604	871.1	16.1	61.3	4.0

Station 19

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
52	Lane 1	863	863.0	5.4	103.8	4.1
53	Lane 2	924	924.0	5.8	102.3	3.8
54	Lane 3	604	604.0	3.9	104.4	5.9
Summary		2,391	821.1	5.0	103.4	4.4

Station 20

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
55	Lane 1	842	842.0	5.6	103.6	4.1
57	Lane 3	99	99.0	0.6	106.3	28.3
56	Lane 2	841	841.0	5.7	101.5	4.2
58	Lane 4	537	537.0	3.7	100.0	6.3
Summary		2,319	739.3	3.9	102.1	5.7

Station 21

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
59	Lane 1	1,176	1,176.0	8.6	92.7	3.0
60	Lane 2	1,397	1,397.0	10.4	92.2	2.6
61	Lane 3	774	774.0	7.0	90.3	4.5
Summary		3,347	1,175.3	8.7	91.9	3.2

Station 22

Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
-----------	----------	---------------	--------------------	---------------------------	----------------------	-----------------------

Summary Point Sensor Data Report**8:00:00 - 9:00:00**

63	Lane 2	686	686.0	17.6	32.9	5.1
62	Lane 1	541	541.0	6.1	64.0	6.6
64	Lane 3	1,417	1,417.0	53.6	22.3	2.5
Summary		2,644	1,048.1	25.8	33.6	4.0
Station 23						
Sensor ID	Position	Vehicle Count	Flow (veh/hr/lane)	Avg Vehicle Occupancy (%)	Average Speed (km/h)	Average Headway (sec)
66	Lane 2	812	812.0	8.1	65.8	4.4
65	Lane 1	655	655.0	6.3	73.2	5.4
67	Lane 3	940	940.0	16.2	61.7	3.4
Summary		2,407	819.3	10.2	66.2	4.2

Note: Red-shaded rows indicate data reported in full or in part during the simulation warmup period

ANEXO C: ESTADÍSTICAS DE VIAJE

Trip Statistics

(8:00:00 - 9:00:00)

Summary Trip Statistics

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
8:05:00	536	2.5	1,341.2	19.6	68.4
8:10:00	1,394	3.3	4,567.2	81.1	56.3
8:15:00	1,473	3.5	5,097.0	101.9	50.0
8:20:00	1,514	3.6	5,392.2	117.7	45.8
8:25:00	1,455	3.5	5,114.3	117.7	43.5
8:30:00	1,413	3.6	5,054.4	123.7	40.9
8:35:00	1,358	3.5	4,764.0	120.8	39.5
8:40:00	1,324	3.5	4,623.6	127.4	36.3
8:45:00	1,257	3.5	4,441.4	130.4	34.1
8:50:00	1,279	3.5	4,514.0	152.5	29.6
8:55:00	1,150	3.5	3,997.7	143.4	27.9
9:00:00	1,069	3.7	3,913.9	155.2	25.2
Completed Trips	15,222	3.4	52,820.9	1,391.3	38.0
Incomplete Trips	4,492	2.7	12,137.5	1,146.2	10.6
Queued Trips	1,154	n/a	n/a	317.6	n/a
Entire Period	20,868	3.4	64,958.4	2,855.1	25.6

Summary Delay Statistics

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
8:05:00	4.5	18.4	1.3	6.1	2.2	0.3
8:10:00	27.3	28.2	9.4	11.4	15.3	0.5
8:15:00	40.8	34.2	14.9	14.2	24.6	0.6
8:20:00	52.6	41.0	21.6	18.1	37.2	0.8
8:25:00	55.8	45.9	24.2	21.3	40.0	0.9
8:30:00	62.3	48.1	28.9	23.7	41.5	0.9
8:35:00	63.1	54.5	28.1	25.2	38.6	0.9
8:40:00	71.3	63.9	34.5	32.1	42.8	1.1
8:45:00	76.4	67.9	39.8	37.5	44.4	1.1
8:50:00	97.4	85.9	55.6	50.0	62.2	1.5
8:55:00	94.8	95.7	55.5	58.4	65.5	1.8
9:00:00	107.2	114.6	64.3	69.9	72.2	2.1
Completed Trips	753.6	58.2	378.1	30.6	486.0	1.0
Incomplete Trips	892.2	n/a	814.1	n/a	412.0	n/a
Queued Trips*	317.6	0.0	n/a	n/a	n/a	n/a
Entire Period	1,963.4	205.3	1,192.2	125.6	898.0	1.8

* For queued trips, the distance traveled is zero. Thus, Avg Delay is an average in seconds per queued vehicle, not per unit distance traveled. The delay statistics for queued vehicles are NOT included in the **Entire Period** summary.

Note: Red-shaded rows indicate data reported in full or in part during the simulation warmup period

ANEXO D: INFORME VMT & VHT

VMT & VHT Report

8:00:00 - 9:00:00

Access Road (60)			
6 Segments, 0.66 Kilometers, 1.0 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	22.2	0.5	0.1
8:10:00	39.0	1.7	1.1
8:15:00	37.3	2.7	2.0
8:20:00	36.0	2.9	2.3
8:25:00	36.4	2.9	2.3
8:30:00	36.8	2.8	2.2
8:35:00	35.4	2.9	2.3
8:40:00	35.5	2.9	2.3
8:45:00	35.8	2.9	2.3
8:50:00	36.6	2.9	2.3
8:55:00	31.8	2.2	1.6
9:00:00	30.4	2.1	1.5
Summary	413.1	29.3	22.4

Access Road (70)			
88 Segments, 10.25 Kilometers, 12.8 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	328.6	7.1	2.4
8:10:00	513.2	14.3	7.0
8:15:00	535.4	17.1	9.5
8:20:00	547.5	17.8	10.0
8:25:00	547.4	19.7	11.8
8:30:00	476.8	18.7	11.9
8:35:00	519.7	27.6	20.2
8:40:00	450.5	23.9	17.5
8:45:00	473.3	30.0	23.2
8:50:00	427.7	29.2	23.1
8:55:00	387.1	26.1	20.5
9:00:00	250.5	12.3	8.7
Summary	5,457.7	243.8	165.8

Freeway (100)			
20 Segments, 4.72 Kilometers, 15.0 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	425.8	4.2	0.0
8:10:00	675.8	7.0	0.2
8:15:00	708.0	7.4	0.3
8:20:00	718.5	7.5	0.3
8:25:00	704.6	7.4	0.4
8:30:00	672.8	7.2	0.5
8:35:00	681.6	7.5	0.7
8:40:00	638.8	7.2	0.9
8:45:00	627.9	12.5	6.2
8:50:00	632.3	12.1	5.8
8:55:00	607.2	10.8	4.8
9:00:00	503.5	6.6	1.6
Summary	7,596.9	97.4	21.5

VMT & VHT Report**8:00:00 - 9:00:00**

Freeway (80)			
65 Segments, 10.77 Kilometers, 31.5 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	1,733.9	26.6	4.9
8:10:00	2,564.2	43.6	11.5
8:15:00	2,552.0	43.9	12.0
8:20:00	2,541.7	44.2	12.4
8:25:00	2,587.1	49.3	16.9
8:30:00	2,516.8	73.3	41.8
8:35:00	2,442.7	68.0	37.4
8:40:00	2,379.5	78.4	48.7
8:45:00	2,295.6	85.6	56.9
8:50:00	2,171.7	92.9	65.7
8:55:00	1,891.6	74.0	50.4
9:00:00	1,583.2	50.7	30.9
Summary	27,260.0	730.4	389.6

Local Street (10)			
28 Segments, 0.68 Kilometers, 1.0 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	0.6	0.2	0.1
8:10:00	0.8	0.2	0.1
8:15:00	1.2	0.2	0.1
8:20:00	0.9	0.1	0.0
8:25:00	1.2	0.2	0.1
8:30:00	0.9	0.2	0.1
8:35:00	1.2	0.2	0.0
8:40:00	1.2	0.2	0.1
8:45:00	1.0	0.2	0.1
8:50:00	1.2	0.3	0.1
8:55:00	1.1	0.2	0.1
9:00:00	0.7	0.2	0.1
Summary	12.1	2.3	1.1

Local Street (30)			
540 Segments, 33.49 Kilometers, 48.7 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	41.6	2.6	1.2
8:10:00	83.8	4.5	1.7
8:15:00	108.3	6.9	3.3
8:20:00	127.6	8.4	4.1
8:25:00	150.0	9.6	4.6
8:30:00	158.1	17.4	12.1
8:35:00	139.3	15.5	10.9
8:40:00	120.4	13.6	9.6
8:45:00	119.4	17.2	13.2
8:50:00	124.8	15.1	10.9
8:55:00	104.0	10.2	6.8
9:00:00	76.5	4.8	2.3
Summary	1,353.8	125.8	80.7

VMT & VHT Report**8:00:00 - 9:00:00**

Local Street (30S) 41 Segments, 3.43 Kilometers, 5.7 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	5.3	0.2	0.0
8:10:00	11.8	0.5	0.1
8:15:00	14.8	0.6	0.1
8:20:00	21.2	1.1	0.4
8:25:00	22.6	1.4	0.6
8:30:00	28.5	2.3	1.3
8:35:00	22.5	7.0	6.2
8:40:00	19.8	2.1	1.4
8:45:00	20.6	4.2	3.5
8:50:00	20.1	3.1	2.4
8:55:00	22.0	1.9	1.2
9:00:00	16.0	1.3	0.7
Summary	225.4	25.5	18.0

Local Street (50) 556 Segments, 36.39 Kilometers, 84.5 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	420.8	16.6	8.2
8:10:00	818.4	32.5	16.1
8:15:00	912.8	37.8	19.5
8:20:00	903.0	37.2	19.2
8:25:00	949.3	42.8	23.9
8:30:00	926.9	41.5	22.9
8:35:00	936.0	47.1	28.4
8:40:00	920.5	47.7	29.2
8:45:00	908.0	52.4	34.3
8:50:00	916.3	48.0	29.7
8:55:00	835.8	48.6	31.9
9:00:00	667.9	28.7	15.4
Summary	10,115.8	480.9	278.6

Local Street (50S) 1 Segments, 0.00 Kilometers, 0.0 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	0.0	0.0	0.0
8:10:00	0.0	0.0	0.0
8:15:00	0.1	0.0	0.0
8:20:00	0.1	0.0	0.0
8:25:00	0.1	0.0	0.0
8:30:00	0.1	0.0	0.0
8:35:00	0.0	0.2	0.2
8:40:00	0.0	0.0	0.0
8:45:00	0.0	0.5	0.5
8:50:00	0.0	0.1	0.1
8:55:00	0.0	0.2	0.2
9:00:00	0.0	0.1	0.1
Summary	0.5	1.2	1.2

VMT & VHT Report**8:00:00 - 9:00:00**

Local Street (60)			
13 Segments, 1.88 Kilometers, 5.6 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	41.7	0.9	0.2
8:10:00	96.6	2.6	1.0
8:15:00	136.9	4.7	2.4
8:20:00	139.9	7.2	4.9
8:25:00	114.1	6.4	4.5
8:30:00	106.2	8.2	6.4
8:35:00	87.2	6.1	4.7
8:40:00	72.5	6.6	5.4
8:45:00	88.5	5.4	4.0
8:50:00	83.2	5.8	4.4
8:55:00	123.7	5.7	3.6
9:00:00	79.5	3.9	2.5
Summary	1,170.0	63.6	44.1

Local Street (70)			
1 Segments, 0.07 Kilometers, 0.1 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	6.6	0.1	0.0
8:10:00	15.1	0.3	0.1
8:15:00	16.2	0.3	0.1
8:20:00	15.9	0.3	0.1
8:25:00	15.7	0.3	0.1
8:30:00	16.0	0.3	0.1
8:35:00	15.8	0.3	0.1
8:40:00	15.7	0.3	0.1
8:45:00	16.2	0.3	0.1
8:50:00	16.1	0.3	0.1
8:55:00	15.6	0.3	0.1
9:00:00	13.8	0.3	0.1
Summary	178.7	3.7	1.1

Roundabout			
220 Segments, 3.17 Kilometers, 7.3 Lane-Kilometers			
Interval Ending	Vehicle Kilometers Traveled	Vehicle Hours Traveled	Vehicle Hours Delay
8:05:00	25.4	3.6	3.0
8:10:00	61.0	7.7	6.5
8:15:00	68.0	9.6	8.2
8:20:00	70.0	10.1	8.7
8:25:00	76.6	11.3	9.7
8:30:00	73.9	11.0	9.5
8:35:00	74.0	11.3	9.9
8:40:00	72.6	12.1	10.7
8:45:00	77.1	11.7	10.1
8:50:00	71.2	12.2	10.8
8:55:00	73.3	12.5	11.0
9:00:00	62.2	9.5	8.2
Summary	805.3	122.5	106.3

Note: Red-shaded rows indicate data reported in full or in part during the simulation warmup period

ANEXO E: NIVEL DE SERVCIO EN ROTONDAS

Summary Roundabout Level of Service Report

8:00:00 - 9:00:00

	Intersection (Node ID)	Control Type	Total Control Delay (vehicle hours)	Average Control Delay (sec/veh)	Level of Service
1	84840 (W), 84829 (N) & 84853 (E) (15)	Roundabout	4.9	6.1	A
2	13257 (W), 13256 (NW) & 84842 (SE) (25)	Pretimed Traffic Signal	7.4	8.9	A
3	48368 (SW), 84876 (S) & 84881 (N) (42)	Roundabout	0.1	1.2	A
4	14259 (NW) & 85295 (E) (45)	Pretimed Traffic Signal	15.6	22.3	C
5	84931 (E), 84936 (SE) & 84945 (W) (74)	Roundabout	0.2	1.8	A
6	84949 (N), 84948 (W) & 12914 (SE) (82)	Yield	3.2	6.3	A
7	84968 (W), 84971 (SE), 84963 (NW) & 84961 (NE) (87)	Yield	0.1	0.4	A
8	85340 (W), 85342 (S) & 85328 (NE) (133)	Roundabout	54.4	34.3	D
9	46565 (SE), 85087 (N) & 85089 (W) (222)	Roundabout	0.0	0.2	A
10	9700 (NE), 85110 (SW) & 85111 (S) (252)	Roundabout	0.0	0.4	A
11	9738 (S), 85124 (N) & 85123 (NE) (256)	Roundabout	0.0	0.2	A
12	85161 (NW), 13483 (NE) & 85162 (SW) (292)	Roundabout	2.7	134.7	B
13	85241 (N), 85239 (W) & 13350 (SE) (344)	Roundabout	0.9	1.9	A
14	46553 (SW), 10107 (N) & 71064 (NE) (9943)	Roundabout	0.1	1.2	A
15	10224 (E), 10222 (NW) & 10226 (SW) (10069)	Roundabout	0.0	0.0	A
16	12811 (NE), 12821 (SE) & 12812 (W) (12256)	Roundabout	0.0	0.1	A
17	13131 (E), 13142 (SE) & 13129 (W) (12532)	Roundabout	6.6	14.9	B
18	13184 (E), 40680 (N) & 16305 (S) (12579)	Roundabout	0.0	0.6	A
19	45602 (S), 64921 (N) & 13246 (W) (12646)	Roundabout	0.0	0.3	A

Note: Red-shaded rows indicate data reported in full or in part during the simulation warmup period



ANEXO E

Plano 1.- Rotondas

LEYENDA

● Rotondas